

**EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE AGUA DE USO RESIDENCIAL**  
“Análisis desde la demanda” Estudio de caso Pereira, Risaralda – Colombia.

**DEIBYS GILDARDO MANCO SILVA**  
**Administrador Ambiental**  
**Código 86081319**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**MAESTRIA EN ECOTECNOLOGÍA**  
**PEREIRA, marzo 2014**

**EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE AGUA DE USO RESIDENCIAL**  
“Análisis desde la demanda” Estudio de caso Pereira, Risaralda – Colombia.

**DEIBYS GILDARDO MANCO SILVA**  
Administrador Ambiental  
Código 86081319

**Proyecto de Grado para optar el título de**  
**Magister en Ecotecnología**

**Dr. Ing. JHONIERS GUERRERO ERAZO**  
Director Proyecto de Grado

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**MAESTRIA EN ECOTECNOLOGÍA**  
**PEREIRA, marzo 2014**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

**CONTENIDO**

RESUMEN.....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
2.1. Pregunta de Investigación .....	10
3. JUSTIFICACIÓN .....	11
4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	12
4.1. Objetivo general .....	12
4.2. Objetivos específicos.....	12
5. HIPÓTESIS .....	12
6. MARCO DE REFERENCIA.....	13
6.1. Gestión de la Demanda .....	13
6.2. Beneficios del Uso Eficiente del Agua .....	14
6.3. Aspectos técnicos y tecnológicos de los equipos de medición.....	15
6.3.1. Conceptos básicos de micromedición .....	15
6.3.2. Tipo de medidores de agua para uso residencial.....	16
6.3.2.1. Medidores de chorro único .....	16
6.3.2.2. Medidores de chorro múltiple.....	16
6.3.2.3. Medidores de pistón rotativo.....	17
6.3.3. Telelectura .....	18
6.3.3.1. Etapas en la transmisión de los datos.....	18
6.4. Estrategias tecnológicas para el uso eficiente de agua .....	19
6.4.1. Dispositivos de bajo consumo de agua.....	19
6.4.1.1. Reductores de caudal.....	19
6.4.1.2. Aireadores / Mezcladores .....	22
6.4.1.3. Desplazadores – Reguladores de Volumen .....	23
6.5. Estudios referentes sobre uso eficiente y ahorro de agua .....	24
7. METODOLOGÍA.....	27
7.1. Objetivo 1: Definir los patrones de consumo de agua en las viviendas del área de estudio.....	27
7.1.1. Localización del área de estudio.....	27
7.1.2. Determinación del plan de muestreo .....	28
7.1.3. Identificación de los elementos del sistema medición de agua .....	29
7.1.3.1. Módulo de radio frecuencia Izar® R3.5 .....	29
7.1.3.2. Micromedidor de media pulgada Altair Composite V4 .....	29
7.1.3.3. Hardware GPRS Receiver .....	30
7.1.3.4. Software Izar® Task.....	30
7.1.3.5. Funcionamiento del sistema de telemetría .....	31
7.1.4. Recolección de datos .....	31
7.2. Objetivo 2: Diseñar escenarios de consumo de agua bajo la implementación de diferentes tecnologías ahorradoras.....	32
7.2.1. Reparación de fugas e instalación de dispositivos ahorradores .....	32
7.3. Objetivo 3: Evaluar los escenarios en términos del consumo eficiente de agua y sus efectos financieros sobre la empresa.....	32
7.3.1. Construcción del modelo de simulación .....	32
7.3.2. Pruebas de análisis de sensibilidad .....	33
7.4. Análisis de la información .....	33
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
8.1. Patrón consumo de agua de uso residencial en los estratos uno y dos de la ciudad de Pereira .....	34
8.1.1. Tendencia del consumo de agua estrato uno .....	36
8.1.2. Patrón consumo de agua estrato uno.....	37
8.1.3. Tendencia del consumo de agua estrato dos .....	39
8.1.4. Patrón consumo de agua estrato dos .....	39
8.1.5. Análisis descriptivo de la dotación per-cápita estrato uno y dos sin tecnología -ST.....	42
8.1.6. Escenarios de consumo de agua con tecnologías -CT ahorradoras.....	47
8.1.6.1. Reparación de fugas e instalación de tecnologías ahorradoras.....	47
8.1.6.2. Patrón consumo de agua estrato uno con tecnologías -CT ahorradoras.....	48
8.1.6.3. Patrón consumo de agua estrato dos con tecnologías -CT ahorradoras.....	50

8.1.6.4.	Análisis descriptivo de la dotación per-cápita estrato uno y dos con tecnología – CT.....	52
8.1.7.	Evaluación de la eficiencia en la dotación per-cápita bajo el uso de tecnologías ahorradoras.....	57
8.2.	Escenarios en términos del consumo eficiente de agua y sus efectos financieros sobre la empresa.....	59
8.2.1.	Construcción del modelo de simulación .....	60
8.2.1.1.	Selección de variables .....	60
8.2.1.2.	Determinación de datos de entrada y ecuaciones matemáticas .....	60
8.2.1.3.	Implementación y verificación de los datos de entrada.....	60
8.2.1.4.	Aplicación de escenarios eficientes de consumo de agua.....	60
8.2.2.	Desarrollo del modelo de simulación .....	60
8.2.2.1.	Variables del modelo de simulación.....	60
8.2.2.2.	Estructura del modelo .....	61
8.2.3.	Análisis de sensibilidad .....	62
8.2.4.	Escenarios desagregados por usos de agua y reducción de pérdidas .....	63
8.2.5.	Efectos financieros de las reducciones de la demanda de agua residencial del estrato uno y dos para “Aguas & Aguas de Pereira” .....	66
8.2.5.1.	A corto plazo.....	66
9.	CONCLUSIONES.....	68
10.	RECOMENDACIONES.....	69
11.	REFERENCIAS.....	70
12.	ANEXOS .....	74

## Contenido de Figuras

Figura 1. Curva característica medidor nuevo de agua potable.....	16
Figura 2. Reducción de orificio circular en tuberías.....	19
Figura 3. Dispositivo aireador - mezclador .....	22
Figura 4. Esquema Efecto Venturi .....	23
Figura 5. Sistema doble descarga y regulador de volumen para inodoros. ....	24
Figura 6. Metodología de estudio .....	27
Figura 7. Esquema espacial del área de estudio .....	28
Figura 8. Elementos del sistema de telemetría.....	30
Figura 9. Esquema de funcionamiento del Sistema de telemetría.....	31
Figura 10. Consumo de agua con y sin prueba de Grubbs estrato uno y dos.....	35
Figura 11. Tendencia del consumo de agua residencial estrato uno.....	37
Figura 12. Patrón de consumo de agua potable estrato uno .....	37
Figura 13. Dotación per-cápita diaria de agua estrato uno .....	38
Figura 14. Dotación per-cápita por unidad hidrosanitaria estrato uno.....	38
Figura 15. Distribución porcentual por unidad hidrosanitaria estrato uno.....	38
Figura 16. Distribución porcentual por usos de agua estrato uno .....	39
Figura 17. Tendencia del consumo de agua residencial estrato dos .....	39
Figura 18. Patrón de consumo de agua potable estrato dos.....	40
Figura 19. Dotación per-cápita diaria de agua estrato dos.....	40
Figura 20. Dotación per-cápita por unidad hidrosanitaria estrato dos.....	41
Figura 21. Distribución porcentual por unidad hidrosanitaria estrato dos.....	41
Figura 22. Distribución porcentual por usos de agua estrato dos.....	41
Figura 23. Dotación per-cápita estrato uno y dos sin tecnología .....	43
Figura 24. Dotación per-cápita diaria estratos uno y dos sin tecnología .....	43
Figura 25. Dotación Per-cápita diaria por unidad hidrosanitaria estrato uno y dos sin tecnología.....	43
Figura 26. Porcentaje de la dotación total per-cápita diaria por unidad hidrosanitaria .....	44
Figura 27. Patrón de consumo estratos uno y dos sin tecnología.....	45
Figura 28. Patrón de consumo por unidad hidrosanitaria estrato uno sin tecnología .....	45
Figura 29. Patrón de consumo por unidad hidrosanitaria estrato dos sin tecnología.....	46
Figura 30. Instalación de dispositivos ahorradores en unidades hidrosanitarias .....	48
Figura 31. Patrón consumo de agua potable estrato uno con tecnología.....	48
Figura 32. Dotación per-cápita diaria de agua estrato uno con tecnología.....	49
Figura 33. Dotación per-cápita por unidad hidrosanitaria estrato uno con tecnología.....	49
Figura 34. Distribución porcentual por unidad hidrosanitaria estrato uno con tecnología.....	50
Figura 35. Distribución porcentual por usos de agua estrato uno con tecnología.....	50
Figura 36. Patrón de consumo de agua potable estrato dos con tecnología.....	51
Figura 37. Dotación per-cápita diaria de agua estrato dos con tecnología.....	51
Figura 38. Dotación per-cápita por unidad hidrosanitaria estrato dos con tecnología.....	51
Figura 39. Distribución porcentual por unidad hidrosanitaria estrato dos con tecnología.....	52
Figura 40. Distribución porcentual por usos de agua estrato dos con tecnología.....	52
Figura 41. Dotación per-cápita estrato uno y dos con tecnología.....	53
Figura 42. Dotación per-cápita diaria estratos uno y dos con tecnología.....	54
Figura 43. Dotación Per-cápita diaria por unidad hidrosanitaria estrato uno y dos con tecnología.....	54
Figura 44. Patrón de consumo estratos uno y dos con tecnología.....	55
Figura 45. Patrón consumo por unidad hidrosanitaria estrato uno con tecnología .....	55
Figura 46. Patrón consumo por unidad hidrosanitaria estrato dos con tecnología .....	55
Figura 47. Diferencias en el uso de tecnologías ahorradoras entre estratos .....	56
Figura 48. Modelo de simulación para el cálculo de la demanda de agua estrato uno y dos .....	62
Figura 49. Comportamiento de la demanda de agua de uso residencial estrato uno y dos .....	62
Figura 50. Síntesis de escenarios de uso eficiente en el estrato uno .....	65
Figura 51. Síntesis de escenarios de uso eficiente en el estrato dos .....	65

Figura 52. Escenario óptimo de consumo de agua para el estrato uno y dos.....	65
Figura 53. Distribución de viviendas según su tamaño. ....	78
Figura 54. Distribución según sexo y edad. ....	78
Figura 55. Distribución según ocupación. ....	79
Figura 56. Distribución según ingresos mensuales. ....	79
Figura 57. Tiempo de permanencia en la Vivienda. ....	80
Figura 58. Distribución según número de inodoros y lavamanos.....	80
Figura 59. Distribución según el número de duchas.....	81
Figura 60. Distribución según el número de lavaderos y lavadoras .....	81
Figura 61. Distribución según el número de lavaplatos y otro tipo de grifos. ....	81

## **Contenido de Tablas**

Tabla 1. Características principales de los medidores de agua .....	17
Tabla 2. Despeje del caudal “Q” a partir del principio de Bernoulli .....	20
Tabla 3. Despeje del caudal “Q” a partir de la inclusión del factor Beta “B” y el coeficiente de descarga “C <sub>d</sub> ” .....	21
Tabla 4. Variables para el cálculo de la tasa de flujo volumétrico “Q” .....	22
Tabla 5. Resultados obtenidos a partir de prácticas de conservación de agua .....	25
Tabla 6. Resultados a partir de la implementación del PIAA de Vitoria-Gasteiz .....	25
Tabla 7. Características Socioeconómicas de los estratos uno y dos .....	28
Tabla 8. Indicadores de consumo de agua sin dispositivos. ....	32
Tabla 9. Indicadores de consumo de agua con dispositivos. ....	32
Tabla 10. Estadísticos descriptivos consumo residencial estrato uno y dos .....	34
Tabla 11. Pruebas de normalidad del para toda la población .....	35
Tabla 12. Prueba de normalidad después del test de Grubbs .....	35
Tabla 13. Anova Univariante consumo residencial.....	36
Tabla 14. Estadísticos del consumo según estrato residencial.....	36
Tabla 15. Resumen del procesamiento de casos según estrato sin tecnología .....	42
Tabla 16. Estadísticos descriptivos dotación per-cápita estrato uno y dos sin tecnología .....	42
Tabla 17. Pruebas de normalidad estratos uno y dos sin tecnología.....	46
Tabla 18. Anova Univariante para muestras independientes sin tecnología .....	47
Tabla 19. Estadísticos de la dotación per-cápita sin tecnología .....	47
Tabla 20. Estadísticos descriptivos dotación per-cápita estrato uno y dos con tecnología.....	53
Tabla 21. Prueba de normalidad estratos uno y dos con tecnología .....	56
Tabla 22. Anova Univariante para muestras independientes con tecnología.....	57
Tabla 23. Estadísticos de la dotación per-cápita con tecnología – CT. ....	57
Tabla 24. Prueba paramétrica -Prueba T para muestras relacionadas .....	58
Tabla 25. Estadísticos según uso de Tecnología .....	59
Tabla 26. Variables utilizadas en el modelo demanda de agua residencial .....	61
Tabla 27. Ahorro eficiente en el consumo de agua para el estrato uno .....	63
Tabla 28. Ahorro eficiente en el consumo de agua para el estrato dos.....	63
Tabla 29. Escenarios de uso eficiente y reducción de pérdidas .....	64
Tabla 30. Costos de la reducción de la demanda “Aguas & Aguas de Pereira” en un periodo de dos años .....	66
Tabla 31. Datos de entrada en el modelo y planteamiento de ecuaciones para el estrato j.....	76

## **Contenido de Anexos**

Anexo 1. Formato encuesta socioeconómica .....	74
Anexo 2. Código matemático del modelo de simulación .....	76
Anexo 3. Información socioeconómica y financiera .....	78

## RESUMEN

El uso eficiente de agua ha tomado mayor relevancia en los últimos años debido al aumento en el consumo de agua asociado a diversos factores que cubren lo ambiental, social, cultural, entre otros. Para lograr una eficiencia en el consumo de agua se debe hablar de gestión de la demanda, haciendo énfasis no sólo en la medición del consumo y la aplicación de tecnología sino analizando la forma como el agua es consumida y poder sentar las bases para establecer estrategias de gestión más asertivas.

El presente estudio hace un análisis al consumo de agua residencial de los usuarios de los estratos uno y dos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. *"Aguas y Aguas de Pereira"* con el fin de establecer patrones de consumo para dichos usuarios y conocer los usos en la vivienda donde se presentan los mayores consumo de agua, al igual que determinar los ahorros en el consumo logrados a través de la implementación de dispositivos tecnológicos.

El desarrollo del estudio se llevó a cabo en tres fases, la primera en la cual se determinaron los elementos de medición a utilizar y la recolección de datos de consumo de la residencia, en la segunda fase se remplazaron los dispositivos de consumo antiguos por unos ahorradores (reductores de caudal, válvulas de doble descarga, aireadores), se detectaron y repararon fugas de agua, se hizo la medición del consumo y se compararon los resultados, en la tercera fase se diseñaron escenarios de consumo a través del programa de modelación *"Stella v.9.1.4"* y se determinaron algunos impactos financieros sobre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P *"Aguas y Aguas de Pereira"*.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo concluir que el mayor consumo de agua en las residencias se presenta en las actividades de aseo del hogar y personal (45,5% y 37,7% respectivamente) en donde los puntos hidrosanitarios como lavadora, lavadero y sanitario son los que mayor aporte hacen al consumo de la residencia; además, se presentaron ahorros de hasta un 9% para el estrato uno y 20% para el estrato dos.

Palabras clave: Gestión de la demanda, uso eficiente de agua, dispositivos ahorradores, consumo de agua residencial.



## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento constante de la población y la necesidad de atender la demanda de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas, requiere de estrategias de gestión que promuevan un uso eficiente de agua, tales como: regulaciones legales, medidas tarifarias, campañas informativas y/o educativas, implementación de nuevas tecnologías y control de infraestructura (Winpenny, 1994) citado por (Arbués García & Villanúa Martín, 2000). La gestión de la demanda, implica cambiar la manera en que tradicionalmente se ha afrontado la demanda, basada únicamente en predecir y abastecer, por una gestión estratégica e integral que involucra modificar las prácticas y los comportamientos de los usuarios del agua (Sánchez T & Sánchez Torres, 2004).

Esta investigación se enmarca en el uso eficiente de agua en sistemas de acueductos urbanos desde una visión tecnológica, como estrategia de la gestión de la demanda de agua. Esto hace necesario conocer las dinámicas y los factores que afectan el consumo de agua a escalas específicas (unidad residencial), con el fin de generar procesos de gestión desde este sector y trascender a sectores como el comercial, industrial, institucional y agrícola, y con ello favorecer el ahorro de los recursos hídricos. En este contexto, la determinación de la demanda de uso residencial, permite establecer modelos de gestión dirigidos al logro de la racionalización y el uso eficiente en las comunidades urbanas, que visto desde la ecotecnología, se sustenta en los principios ecológicos de la conservación de ecosistemas y la sostenibilidad (Mitsch & Jorgensen, 2003), a través de la administración, utilización y conservación de los recursos naturales, como uno de sus campos de aplicación (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001), logrando el uso de los ecosistemas sin destruir el balance de los mismos (Mitsch W. J., 2012).

A su vez, Gosselin (2008) define la ecotecnología como una disciplina que permite dar soluciones a problemas ambientales a partir de la aplicación de la ingeniería o el desarrollo científico, y que desde la perspectiva de esta investigación, se logra con la disminución de la presión sobre el recurso hídrico, a través de la reducción en el consumo de agua en el sector residencial mediante el uso de tecnologías ahorradoras.

Por medio de este proyecto se definieron los patrones de consumo de agua a los usuarios de los estratos uno y dos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. "*Aguas & Aguas de Pereira*"; se diseñaron escenarios de consumo de agua bajo la implementación de diferentes tecnologías ahorradoras y se evaluaron escenarios en términos del consumo eficiente de agua y sus efectos financieros, determinando la influencia de los aspectos tecnológicos en el consumo de agua para el sector residencial.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La política de uso eficiente y ahorro de agua en Colombia creada en 1997, tiene el objetivo de lograr reducciones en las pérdidas del sistema de abasto y del consumo en los hogares, promoviendo para las viviendas tecnologías y sistemas de bajo consumo y reúso, en otras palabras racionalización de la demanda (Ley 373, 1997). Es esencial reconocer las variables que influyen en el consumo de agua de uso residencial a fin de desarrollar escenarios eficientes para la gestión de la demanda (Jorgensen, Graymore, & O'Toole, 2009).

Al hablar de gestión de la demanda se debe tener en cuenta que ésta es dirigida a motivar a la población e influenciar el uso de agua en sus actividades cotidianas a través de programas de conservación (Carragher, Stewart, & Beal, 2012). Actividades como la preparación de alimentos, aseo del hogar y cuidado personal están asociadas a la calidad de vida de la población y responden en su conjunto a aproximadamente el 50% del consumo total de agua de una ciudad -uso residencial (Howe & Linaweaver, 1967; Grima, 1972, citados en Zhanga & Brown, 2005), el porcentaje restante lo representan consumos de tipo comercial, industrial, oficial, entre otros. Sin embargo, los usuarios en general no aprecian la importancia de la oferta de agua, ya que no son conscientes de las amenazas del mal uso de este recurso (Dziegielewski & Baumann, 2011), así, garantizar la disponibilidad de agua se ha convertido en un tema de vital importancia a nivel mundial debido al aumento de los problemas que afectan a la oferta del recurso a causa del crecimiento poblacional, desarrollo urbano, cambio climático, irrigación de campos, sequías y características económicas de los países (Green & Maddaus, 2010; Jorgensen, Graymore, & O'Toole, 2009), aunado al hecho que en el mundo tan solo el 1% del agua total se encuentra disponible para consumo humano y es de fácil acceso para las poblaciones (Bouwer, 2000 citado en Carragher, Stewart, & Beal, 2012).

Dado lo anterior, la conservación de agua en usuarios residenciales puede ser efectiva por varias razones: el consumo de agua residencial representa, como se dijo anteriormente, el mayor consumo de agua en una ciudad; las unidades hidrosanitarias como duchas, baterías sanitarias o lavadoras representan el mayor consumo dentro de una vivienda y por último, se ha probado que las diferentes tecnologías de uso eficiente conllevan a una disminución en el consumo de agua (Lee & Tansel, 2012), adicionalmente, los estudios del uso de agua (*asociados a un uso específico dentro del hogar*) constituyen una fuerte base para la evaluación de la efectividad de estrategias de gestión de la demanda (Carragher, Stewart, & Beal, 2012); es por ello que este proyecto se ha enfocado en realizar un análisis desde la demanda de agua para el sector residencial basado en el uso de dispositivos tecnológicos de uso eficiente para las unidades hidrosanitarias de una vivienda.

### 2.1. Pregunta de Investigación

*¿Cómo contribuyen los dispositivos tecnológicos y la detección y reparación de fugas al interior de la vivienda a optimizar el uso de agua en los usuarios estratos uno y dos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. "Aguas & Aguas de Pereira"?*

### 3. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso esencial para el hombre, para la salud humana y de éste dependen algunos procesos productivos, sin olvidar que es un recurso escaso, por lo tanto se hace necesario su uso racional. Esto implica un cambio en la visión del usuario que lleve a valorar el agua como un recurso finito que puede agotarse y considere que disponer de agua apta para consumo humano implica un costo económico y ambiental (UNESCO, 2003).

Con el propósito de administrar adecuadamente este recurso y reducir la presión sobre el mismo, aparece el concepto de uso eficiente del agua, que podría definirse como la implementación de estrategias destinadas a disminuir la demanda con el fin de hacer un uso sostenible y eficiente del recurso, bajo circunstancias en las cuales no existe agotamiento (Marunga, Hoko, & Kaseke, 2006). El uso eficiente involucra mejoras tecnológicas y cambios culturales en el uso de agua tanto interno como externo a nivel residencial, comercial, industrial e institucional.

Generalmente una reducción en la demanda resulta en beneficios tanto económicos como ambientales considerando la calidad del agua, entre estos beneficios se pueden mencionar: mejoras en la gestión del agua y los sistemas de distribución, reducción del flujo excesivo en las plantas de tratamiento de agua potable y beneficios económicos para las empresas y los usuarios (California Natural Resources Agency, 2009). Al involucrar el uso eficiente como estrategia de gestión, se pueden brindar alternativas de solución a las deficiencias encontradas en el uso del recurso hídrico, y visto desde la ecotecnología se pueden resolver estas deficiencias a través de la implementación de dispositivos ahorradores (*alternativa tecnológica*).

Algunas medidas de gran impacto que encausan un uso eficiente del agua son: sistema de control de precios del agua, aplicación de medidas de compensación, reutilización de aguas, implementación y sustitución de dispositivos antiguos por unos de mayor ahorro y la medición del consumo de agua (Millock and Nauges, 2010; Randolph and Troy, 2008, citados en Lee & Tansel, 2012; Inman and Jeffrey, 2006, citado en Willis, Stewart, Paruwatwanich, Jones, & Kyriakides, 2010). Estas medidas son aplicables a cualquier uso que se haga del agua (industrial, comercial, agrícola, doméstico e institucional).

Se requiere establecer patrones de consumo para usuarios residenciales a fin de desarrollar estrategias de gestión, conocer las variables que actúan sobre el uso de agua, evaluar las características individuales de los hogares, y con ello construir un modelo que describa los consumos de agua y que permita simular los ahorros obtenidos, dada la implementación de estrategias de reducción de la demanda, asociadas al uso de dispositivos tecnológicos eficientes en los hogares, dirigidas a la conservación y al fomento de la eficiencia en el uso del agua (Barberan Ortí & Salvador Figueras, 2010).

A partir de la ecotecnología se pueden encontrar opciones de mejoramiento para la gestión del recurso hídrico, de acuerdo a los resultados que se hallen mediante las estrategias de uso eficiente de agua en las viviendas asociados a la tecnología, como es el caso del presente estudio, mediante la identificación de patrones de consumo para la ciudad de Pereira en los estratos uno y dos, a partir de lo cual se abren las puertas a nuevas necesidades de investigación en materia de gestión de la demanda tanto para las empresas prestadoras del servicio, como para los usuarios y el medio ambiente.

#### **4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS**

##### **4.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de los aspectos tecnológicos en el uso de agua residencial de los usuarios estratos uno y dos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. *“Aguas & Aguas de Pereira”*.

##### **4.2. Objetivos específicos**

- ✓ Definir los patrones de consumo de agua en las viviendas del área de estudio.
- ✓ Diseñar escenarios de consumo de agua bajo la implementación de diferentes tecnologías ahorradoras.
- ✓ Evaluar los escenarios en términos del consumo eficiente de agua y en sus efectos financieros sobre la empresa.

#### **5. HIPÓTESIS**

Los usuarios residenciales de los estratos uno y dos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P *“Aguas & Aguas de Pereira”* hacen uso eficiente del agua, mediante la implementación de dispositivos tecnológicos, la detección y reparación de fugas al interior de la vivienda.

## 6. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se describen los temas que tiene relación con la investigación, tales como: gestión de la demanda de agua, beneficios del uso eficiente de agua, equipos de medición y aplicación de estrategias tecnológicas para el uso eficiente de agua, temáticas que guían y se relacionan con la gestión del recurso hídrico y su aplicación de prácticas ecotecnológicas para el aprovechamiento sostenible del recurso.

### 6.1. Gestión de la Demanda

La gestión de la demanda es el conjunto de medidas multidisciplinares concretas a aplicar sobre el abastecimiento de agua a lo largo de un periodo de tiempo determinado, con el fin de lograr al final del mismo, la mejora previamente evaluada en la eficiencia del consumo de agua (Global Water Partnership, 2006). El uso eficiente del agua es uno de los objetivos de la gestión de la demanda, incluye medidas, ya sean preventivas o correctivas, que reducen la cantidad de agua que se utiliza por cada actividad y que favorece el mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua, al igual que cualquier reducción o prevención de pérdida de agua que sea de beneficio para la sociedad en su conjunto (Sánchez T & Sánchez Torres, 2004).

El consumo de agua en diversas actividades está determinado por diferentes variables que se incluyen en los siguientes factores: *factores climáticos* (temperatura, precipitación pluvial, humedad relativa), *factores sociales* (habitantes por vivienda, composición familiar, nivel de educación, estrato social), *factores económicos* (ingreso familiar, precio del agua, consumo histórico) (Obregon Herrera, 2003); (Aguilar Ortega, 2003) y/o *factores culturales* (estilo de vida de las personas, valores, normas y modelos sociales, creencias asociadas a la conducta ambiental) (Corraliza & Martín, 2000), que de acuerdo al contexto, tendrán diferentes relevancias (Manco Silva, Guerrero Erazo, & Ocampo Cruz, 2012).

Los primeros trabajos realizados en el análisis de las variables que intervienen en la demanda de agua de uso residencial se basaron en el pronóstico en una sola variable: *crecimiento de la población* y se asumió una relación de tipo directo (Aguilar Ortega, 2003); se han incluido técnicas de regresión lineal y no lineal múltiple aplicada a series de tiempo que implican la existencia de una función de demanda que se ajusta a las preferencias de los usuarios del servicio frente a otros bienes, y a diferentes esquemas tarifarios (Arbués, García-Valiñas, & Martínez-Espiñeira, 2003). El estudio realizado por Arbués, García-Valiñas, & Martínez-Espiñeira (2003) ha sido la base para investigaciones realizadas en México por Jaramillo-Mosqueria (2003), respecto al modelado de la demanda de agua de uso residencial y en Alemania por Schleich & Hillenbrand (2009), en relación a los determinantes de la demanda de agua para uso residencial.

La curva denominada patrón de consumo caracteriza las frecuencias de consumo instantáneo de todos los suscriptores de una localidad, se construye asignando a cada rango de caudales los volúmenes sobre el total consumido dentro de cada intervalo.

Esta curva proporciona información útil para el diseño de redes, dimensionamiento de medidores, parametrización de cambio por vida útil de los medidores y cálculo del error de medición, entre otros. Por otro lado la curva de perfiles de consumo representa la conducta de consumo de agua en una vivienda, es la representación de la relación entre el caudal de agua que se está consumiendo por habitante y/o usuario y la hora a la que se produce dicho consumo. Esta curva de perfil de consumo proporciona información útil para conocer la cantidad de agua que se debe producir y suministrar a la red de distribución y la que es consumida por los usuarios (Bastidas Delgado, 2009).

Las curvas de patrón y perfil son representativas de cada lugar y dependen de los hábitos de consumo, distintas variables pueden influir como el tipo de vivienda, clima, estrato, número de habitantes, época del año, entre otras. Cada región tiene su propio patrón y perfil de consumo (Bastidas Delgado, 2009).

## **6.2. Beneficios del Uso Eficiente del Agua**

El incremento del uso de agua plantea la necesidad de buscar mecanismos para integrar el uso eficiente, considerando el rol del agua como un servicio ambiental, social y económico (Global Water Partnership, 2006). El desarrollo urbano, el cambio climático, el crecimiento demográfico, la contaminación del agua y los cambios en los patrones de consumo, han contribuido con importantes diferencias entre la disponibilidad de fuentes hídricas de calidad (oferta) y la demanda de agua (Jorgensen, Graymore, & O'Toole, 2009; European Commission, 2006).

Los recursos hídricos adquieren mayor importancia porque son limitados y no siempre disponibles en el lugar en que se requieren, aun cuando estos permanezcan estables en términos de cantidad disponible, estos decrecerán debido al uso y deterioro de la calidad causada por la contaminación. Si bien las autoridades ambientales competentes intentan asegurar el suministro futuro de agua, también se reconoce la necesidad de gestionar la demanda, lo que requiere mayor responsabilidad en su uso y en los avances tecnológicos que permitan hacer un uso eficiente del recurso (Aguilar Ortega, 2003).

Se reconoce que los cambios a impulsar en la gestión de la demanda de agua, se deben enfocar tanto a los sistemas sociales como a la capacidad científica y tecnológica, y que para concretar estos cambios, son claves: el conocimiento, la innovación, las redes sociales y las asociaciones (Global Water Partnership, 2006).

El uso eficiente de agua trae consigo beneficios para las empresas prestadoras del servicio de agua potable y alcantarillado en: ahorro en desarrollo y construcción de nueva infraestructura, disminución en las pérdidas comerciales (pérdidas de agua por fugas), disminución de los costos operativos (disminución del volumen de agua y ahorro en insumos para tratamiento), manejo de sequías y cortes de suministro (Dickinson, 2003); entre los beneficios a los usuarios se encuentran: ahorro de dinero por pago en el consumo facturado para acueducto y alcantarillado (Dickinson, 2003).

### 6.3. Aspectos técnicos y tecnológicos de los equipos de medición

A continuación se describen las características de los equipos de medición y la importancia del uso de estos instrumentos dentro de la gestión de la demanda de agua.

#### 6.3.1. Conceptos básicos de micromedición

La instalación de medidores de agua en hogares o el mejoramiento de su clase metrológica ha indicado una reducción en el consumo en un rango del 10% al 30% y algunas veces hasta el 50% (Maddaus, 1984 citado por Terrebonne, 2005), así la micromedición se convierte en una forma eficaz para racionalizar el consumo de agua.

La micromedición estima el volumen consumido de agua de cada usuario con fines de facturación y permite saber con exactitud la cantidad de agua que se produce y la suministrada a la red de distribución. Las empresas prestadoras del servicio de acueducto y alcantarillado instalan a sus usuarios residenciales, medidores tipo volumétrico y de velocidad, en su mayoría de media pulgada de diámetro (Bastidas Delgado, 2009).

El volumen indicado por el medidor corresponde al volumen real, el cual está sujeto al error máximo permisible (EMP), es decir, los valores extremos del error de indicación del medidor de agua. Debido a las variables que intervienen en el funcionamiento del medidor, se establecen las condiciones de operación nominales (CON) como los usos que dan el rango de valores para los cuales se requiere que los errores de indicación del medidor estén dentro del EMP. Las condiciones límite (CL) son aquellas condiciones extremas, incluido el caudal, la temperatura, la presión, la humedad y la interferencia electromagnética que debe soportar un medidor de agua sin sufrir daño y sin degradación de sus errores de indicación (ICONTEC, 2007).

Las características técnicas y metrológicas para medidores de agua potable fría se especifican en la Norma Técnica Colombiana -NTC 1063:2007 (ICONTEC, 2007). Dicha norma define los caudales así: *caudal permanente*  $Q_3$ , *caudal mínimo*  $Q_1$ , *caudal de transición*  $Q_2$  y *caudal máximo*  $Q_4$ . El rango de medición del instrumento está definido por el cociente entre  $Q_3/Q_1$  en  $m^3 \cdot h^{-1}$ . La relación de caudales identifica las clases metrológicas A, B, C y D que corresponden a valores numéricos: *Clase A*:  $Q_3/Q_1=25$ ; *Clase B*:  $Q_3/Q_1=50$ ; *Clase C*:  $Q_3/Q_1=100$  y *Clase D*:  $Q_3/Q_1=160$ . La clase "A" corresponde al rango de medición más bajo y la clase "D" al rango más alto.

Los medidores de agua se diseñan de acuerdo con el  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  y  $Q_4$ . Todo micromedidor tiene un error de medición. La Figura 1 muestra una curva típica de precisión en la cual debe funcionar un medidor nuevo; este no registra consumos a caudales muy bajos; a determinado caudal el medidor inicia su movimiento con un error de medición alto; este caudal delimita el caudal de arranque. A medida que el caudal incrementa el medidor registra una reducción del error de medición y llega a tomar errores positivos de registro marcando el error máximo permisible de  $Q_1$ , hasta

su equilibrio. Entre  $Q_1$  y  $Q_2$  se reduce el nivel de error y se ajusta al nivel del error de funcionamiento, registrado entre  $Q_2$  y  $Q_4$  (Bastidas Delgado, 2009) e (ICONTEC, 2007).

Según la NTC 1063:2007 (ICONTEC, 2007) un medidor nuevo puede funcionar con  $\pm 5\%$  de error respecto a su caudal  $Q_1$ , (Figura 1) mientras su funcionamiento esté por debajo de  $Q_2$ ; una vez sobrepase  $Q_2$ , el medidor debe responder a un  $\pm 2\%$  de error máximo con respecto al rango de caudal donde se encuentre funcionando. Dado que el error de medición no es constante en todo el rango de caudales, no se puede hablar de un error genérico para un medidor, ya que en última instancia este depende del caudal circulante por el mismo (Arregui de la Cruz, Cabrera Rochera, & Cobacho Jordán, 2007).

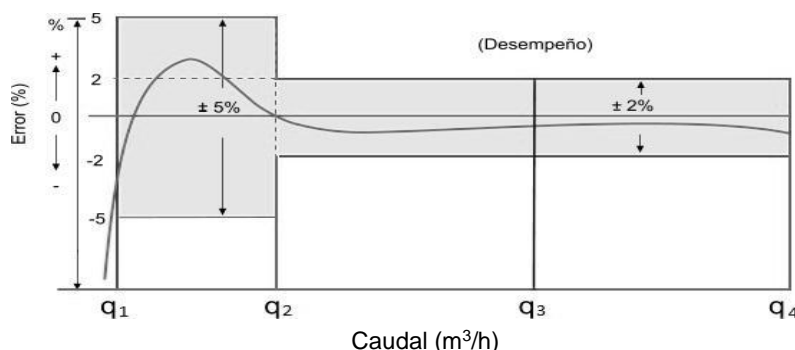


Figura 1. Curva característica medidor nuevo de agua potable.  
Fuente: SCR METERS, 2012. [http://www.scrmexico.com/anahuac/anahuac\\_M.html](http://www.scrmexico.com/anahuac/anahuac_M.html)

De acuerdo con (Cali Chex, 2009), los medidores son un instrumento dentro de los sistemas de acueducto que permiten hacer un uso adecuado del agua y el pago equitativo con relación al consumo, cuyo estudio realizado en Guatemala arrojó como resultado una disminución en el consumo después de la implementación de medidores en la comunidad de Buena Vista, Santa Lucía de Utitlán.

### 6.3.2. Tipo de medidores de agua para uso residencial

#### 6.3.2.1. Medidores de chorro único

Se enmarcan dentro de la categoría de *medidores de velocidad*. Su funcionamiento se basa en la incidencia tangencial de un chorro de agua sobre la turbina alojada en el interior de la carcasa. Su óptimo funcionamiento es en posición horizontal, así la turbina se apoya sobre el extremo del eje en un solo punto, lo que hace que el rozamiento sea menor y los errores de medida a caudales bajos no se vean alterados (Arregui de la Cruz, Cabrera Rochera, & Cobacho Jordán, 2007).

#### 6.3.2.2. Medidores de chorro múltiple

Son *medidores de velocidad*, se utilizan en la medición del consumo residencial, comercial y en redes de riego; en estos medidores el agua incide sobre la turbina en toda su periferia. Están diseñados para funcionar con el eje de la turbina vertical, en esta posición se consigue menor resistencia y se reduce el desgaste de las piezas móviles (Arregui de la Cruz, Cabrera Rochera, & Cobacho Jordán, 2007).



### 6.3.2.3. Medidores de pistón rotativo

Son *medidores volumétricos*, se usan habitualmente para la medición del consumo en usuarios residenciales. Estos registran el consumo mediante el cómputo del número de llenados y vaciados de una cámara de volumen conocido. El elemento móvil lo constituye un pistón que gira excéntricamente alrededor del eje de la cámara de medición. A la vez que se llena el compartimiento de la derecha, se vacía el situado a la izquierda. En cada rotación del pistón atraviesa la cámara de medición el mismo volumen de agua. Este principio de funcionamiento es el que permite mayor exactitud en la medición. De hecho, medidores clase D que existen actualmente en el mercado utilizan esta tecnología de medición. La exactitud depende de los ajustes entre la cámara y el pistón, ya que los errores de medición tienen origen en las fugas existentes entre ambos elementos (Arregui de la Cruz, Cabrera Rochera, & Cobacho Jordán, 2007).

La Tabla 1 enumera las ventajas y desventajas comparativas de cada uno de los medidores de agua para uso residencial presentados anteriormente.

Tabla 1. Características principales de los medidores de agua

	Ventajas	Desventajas
Medidores de Chorro único	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia a sólidos en suspensión.</li> <li>✓ Adecuados para aguas duras.</li> <li>✓ Bajo costo y alta fiabilidad, tecnología usada para consumos domésticos.</li> <li>✓ Su costo de adquisición es reducido comparado entre las tecnologías disponibles.</li> <li>✓ No requiere grandes espacios para su instalación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La turbina y el eje están equilibrados hidráulicamente por lo que están sometidos a esfuerzos que acelerar el desgaste.</li> <li>✓ A caudales medios y altos la curva de error en contadores con <i>bypass</i>, se desplaza hacia la zona de errores positivos.</li> <li>✓ La posición de instalación afecta el error de medición.</li> <li>✓ Los caudales de arranque no detectan un alto porcentaje de fugas.</li> </ul>
Medidores de Chorro múltiple	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Comparado con los de chorro único, éste instrumento tiene: mayor vida útil, funcionamiento equilibrado de la turbina, mejor comportamiento a bajos caudales, caudal de arranque menor.</li> <li>✓ No son sensibles al perfil de velocidades entrante, por lo que no requiere tramos rectos de tubería aguas arriba.</li> <li>✓ Resistencia a sólidos en suspensión.</li> <li>✓ Adecuados para aguas duras.</li> <li>✓ Precio competitivo en el mercado con respecto a otras tecnologías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Son más voluminosos que los medidores de chorro único, sobre todo a diámetros pequeños.</li> <li>✓ La posición de instalación tiene efecto sobre la curva de error a caudales bajos.</li> <li>✓ Perjuicios económicos dado a un alto número de fugas no registradas en las instalaciones internas.</li> <li>✓ A caudales medios y altos la curva de error suele desplazarse hacia la zona de errores positivos.</li> <li>✓ Rara vez se encuentra un medidor de chorro múltiple Clase C de más de 30 mm.</li> </ul>
Medidores de pistón Rotativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tecnología de medición fiable y utilizada durante décadas.</li> <li>✓ No es sensible al perfil de velocidades, lo que reduce los requerimientos de espacio en su instalación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La curva de error siempre tiende hacia el subcontaje.</li> <li>✓ Sensible a sólidos en suspensión.</li> <li>✓ Ruidosos a caudales altos.</li> <li>✓ Más voluminosos y pesados que los</li> </ul>

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Variedad de modelos de diferentes metrologías y precios.</li> <li>✓ Sensible a caudales bajos.</li> <li>✓ Disponible con Clase D.</li> <li>✓ Insensible a la posición de instalación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>medidores de otras tecnologías para un mismo caudal nominal (<math>Q_3</math>).</li> <li>✓ Más costos que contadores de otras tecnologías.</li> </ul>

*Fuente: Adaptado de Arregui de la Cruz, Cabrera Rochera, & Cobacho Jordán, 2007.*

### **6.3.3. Telelectura**

Consiste en el almacenamiento a distancia de los datos registrados sobre el consumo de agua del usuario, es decir, sin necesidad de desplazarse físicamente hasta el medidor. Este procedimiento permite mayor frecuencia y fiabilidad, mejorando la eficiencia en el proceso, el conocimiento que se tiene del sistema y la facturación de los consumos (Arregui de la Cruz, Cabrera Rochera, & Cobacho Jordán, 2007).

#### **6.3.3.1. Etapas en la transmisión de los datos**

Con algunas diferencias y dependiendo de las características específicas de cada tecnología, la transmisión de datos sigue siempre una secuencia similar:

El totalizador es un dispositivo instalado dentro del medidor cuya función es la de integrar la señal de caudal proveniente del sensor y mostrar el valor del volumen total de agua que ha circulado por el instrumento.

Con el fin de transformar la lectura del totalizador en una señal eléctrica compatible hacia el resto del sistema, es necesaria la inclusión de un transductor, *MIU* (*Meter Interface Unit*) que consta de dos componentes: un dispositivo capaz de leer el volumen registrado por el totalizador mecánico y convertirlo en una señal eléctrica preparada para ser transmitida por el sistema, que suele ser un *emisor de pulsos*; y otro dispositivo cuya función es transmitir la señal a través del sistema, el cual se hace innecesario cuando el sistema consiste en almacenar los pulsos en una memoria del equipo registrador (*data logger*).

Los datos transmitidos por el *MIU* (*emisor de pulsos*) o por contador electrónico son recibidos por un elemento intermedio cuya función es la de almacenar temporalmente los datos de todo un conjunto de medidores hasta que estos sean posteriormente transmitidos al centro de gestión de datos. Existen dos alternativas para este dispositivo, ya que puede ser fijo o portátil: si es fijo, normalmente recibe el nombre de concentrador y si se trata de un dispositivo portátil, se denomina Terminal Portátil de Lectura (TPL).

El uso de este tipo de elementos presenta algunas desventajas, entre estas se tiene: la señal puede ser sensible a interferencias y sufrir rebotes por mala señal; si se utiliza una batería y no energía eléctrica, la vida útil de la batería es de 10 a 15 años como máximo; se requiere del procesamiento y análisis de grandes cantidades de datos con el fin de obtener información útil. Sin embargo, estos elementos ofrecen mayor detalle en la información y no presentan simplemente un valor de volumen acumulado de

agua, siendo útil para optimizar la gestión en la red de acueducto y reducir las pérdidas de agua (Arregui de la Cruz, Cabrera Rochera, & Cobacho Jordán, 2007).

#### 6.4. Estrategias tecnológicas para el uso eficiente de agua

A continuación se describen las estrategias tecnológicas aplicables al consumo de agua en usuarios residenciales.

##### 6.4.1. Dispositivos de bajo consumo de agua

El Gobierno Nacional promueve acciones de manejo racional de agua a través de la Ley 373, 1997 y establece el programa para uso eficiente y ahorro de agua como un conjunto de proyectos y acciones dirigidas a los usuarios del recurso hídrico; la NTC 1500:2004 (ICONTEC, 2004) determina que *todos los equipos, sistemas y accesorios deben cumplir con los requisitos de bajo consumo de agua* conforme a lo establecido en el Decreto 3102 de 1997). Según Manco Silva, Guerrero Erazo, & Ocampo Cruz (2012), la instalación de sistemas de ahorro de agua en las viviendas garantiza un uso eficiente del recurso de forma continua, una sencilla forma de reducir el valor de la factura de agua. Algunos de los sistemas de ahorro que se pueden incorporar dentro de las viviendas a las conexiones hidráulicas son (Manco Silva, Guerrero Erazo, & Ocampo Cruz, 2012):

##### 6.4.1.1. Reductores de caudal

Son dispositivos que disminuyen o regulan el caudal de agua que pasa por una tubería de diámetro “D” al incorporar dentro de la misma un orificio circular de diámetro menor “d” (Saenz Forero, 1984), como se muestra en la Figura 2.

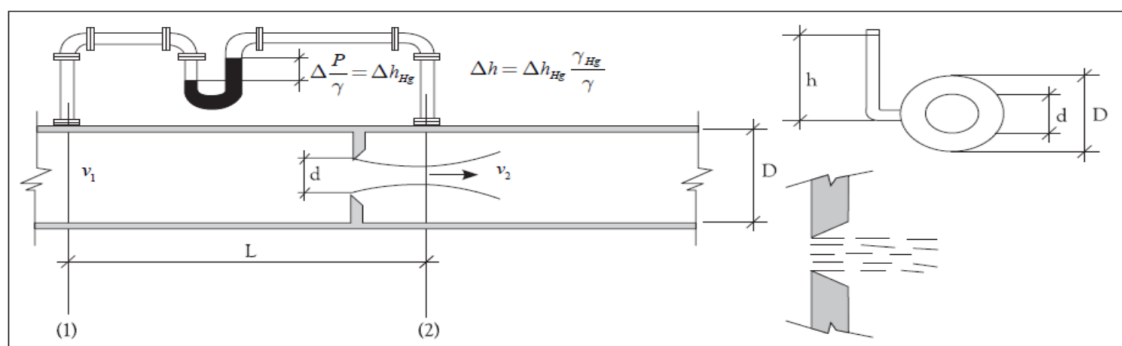


Figura 2. Reducción de orificio circular en tuberías.

Fuente: Manco Silva, Guerrero Erazo, & Ocampo Cruz, 2012; adaptado de Saenz Forero, 1984

La explicación física a dicho fenómeno se obtiene al aplicar la *ecuación de Bernoulli* (Ecuación 1) entre los puntos 1 y 2 (Figura 2), asumiendo la posición horizontal del tubo. En la *ecuación de Bernoulli* se denomina potencial hidráulico (E) a la energía que posee un fluido en una ubicación dada. Esta energía equivale al producto de la fuerza por la distancia con respecto al eje de referencia, donde: “Z<sub>1</sub>” es la energía por posición; “ $\frac{P_1}{\gamma}$ ” es la energía piezométrica; y “ $\frac{V_1^2}{2g}$ ” es la energía cinética o carga de velocidad. Debido a la ley de conservación de la energía, en todo circuito hidráulico se

tiene que la energía en un punto es igual a la energía en cualquier otro punto, menos la pérdida de carga ocasionada por el flujo de agua “ $hf$ ”, que para fines prácticos es pequeña y puede despreciarse (White, 2008). La aplicación de este principio se muestra en la Figura 2.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \pm hf_{1-2}$$

Ecuación 1. Principio de Bernoulli, Ley de la conservación de la energía

Al incluir en el principio de Bernoulli (Ecuación 1) la ecuación de continuidad de caudales “ $Q$ ” y al despreciar la pérdida de carga “ $hf$ ” (Tabla 2) se obtiene la Ecuación 2

Tabla 2. Despeje del caudal “ $Q$ ” a partir del principio de Bernoulli

	$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \pm hf_{1-2}$
Ecuación de Bernoulli	$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \pm hf_{1-2}$
Ley conservación de la energía	
(aplicación en reductores de caudal)	$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2}$ $\frac{1}{\gamma}(P_1 - P_2) = \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2)$
Ecuación de continuidad de Caudales “ $Q$ ”	$Q = (A_1 * v_1) \therefore Q = (A_2 * v_2)$ $v_1 = \left(\frac{Q}{A_1}\right) \therefore v_2 = \left(\frac{Q}{A_2}\right)$
Remplazando Velocidad 1 y Velocidad 2 ( $V_2 - V_1$ ), de acuerdo con la ecuación de continuidad de caudales “ $Q$ ”	$\frac{1}{\gamma}(P_1 - P_2) = \frac{1}{2} \left[ \left(\frac{Q}{A_2}\right)^2 - \left(\frac{Q}{A_1}\right)^2 \right]$ $\frac{1}{\gamma}(P_1 - P_2) = \frac{1}{2} \left[ \left(\frac{Q^2}{A_2^2}\right) - \left(\frac{Q^2}{A_1^2}\right) \right]$ $\frac{1}{\gamma}(P_1 - P_2) = \frac{Q^2}{2} \left( \frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right)$ $\frac{2}{\gamma}(P_1 - P_2) = Q^2 \left( \frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right)$
Multiplicando por “ $A_2^2$ ”	$\left[ \frac{2}{\gamma}(P_1 - P_2) \right] * A_2^2 = Q^2 \left( \frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) * A_2^2$ $A_2^2 * \left[ \frac{2}{\gamma}(P_1 - P_2) \right] = Q^2 \left( \frac{A_2^2}{A_2^2} - \frac{A_2^2}{A_1^2} \right)$ $A_2^2 * \left[ \frac{2(P_1 - P_2)}{\gamma} \right] = Q^2 \left( 1 - \frac{A_2^2}{A_1^2} \right)$
Despejando para “ $Q$ ”	$Q^2 = A_2^2 * \left[ \frac{\left( \frac{2(P_1 - P_2)}{\gamma} \right)}{\left( 1 - \frac{A_2^2}{A_1^2} \right)} \right]$

$$Q = \sqrt{(A_2)^2} * \sqrt{\frac{(2(P_1 - P_2)/\gamma)}{\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)}}$$

$$Q = A_2 * \sqrt{\frac{(2(P_1 - P_2)/\gamma)}{\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)}}$$

Fuente: elaboración propia, 2013

$$Q = A_2 * \sqrt{\frac{(2(P_1 - P_2)/\gamma)}{\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)}}$$

Ecuación 2. Tasa de flujo volumétrico teórico "caudal Q"

Sea " $A_1$ " el área de la sección de la tubería, " $A_2$ " el área del orificio, " $Q$ " el caudal y al introducir el factor " $\beta$ " que representa la contracción vertical en un punto dado " $\beta = \frac{d_2}{d_1}$ " (Saenz Forero, 1984), así como el coeficiente de contracción " $C_c$ ", debido a que la vena líquida no tendrá exactamente la misma dimensión del orificio, el coeficiente de velocidad " $C_v$ " que toma en cuenta las pérdidas causadas por la resistencia que el orificio opone al agua y el producto entre ambos " $C_d = C_c * C_v$ ", denominado *coeficiente de descarga* " $C_d$ ". El " $C_d$ " toma el valor de 0,61 para orificios de "arista viva" (García Díaz, 2010), se retoma la Ecuación 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y se obtiene la Ecuación 3 (Tabla 3).

Tabla 3. Despeje del caudal " $Q$ " a partir de la inclusión del factor Beta " $\beta$ " y el coeficiente de descarga " $C_d$ "

	$A_1 = \left(\frac{\pi * d_1^2}{4}\right) \therefore A_2 = \left(\frac{\pi * d_2^2}{4}\right)$ $A_1 = (d_1^2) \therefore A_2 = (d_2^2)$ $\therefore \frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{d_1^2}{d_2^2}\right)$ $\therefore \left(\frac{A_1^2}{A_2^2}\right) = \left(\frac{d_1^4}{d_2^4}\right)$ $\therefore \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4$ $\beta = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4$
Factor Beta " $\beta$ "	
Tasa de flujo volumétrico teórico con factor " $\beta$ " y Coeficiente de descarga " $C_d$ "	$Q = A_2 * \sqrt{\frac{(2(P_1 - P_2)/\gamma)}{\left(1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4\right)}}$ $Q = C_d A_2 * \sqrt{\frac{(2(P_1 - P_2)/\gamma)}{(1 - \beta^4)}}$

$$Q = C_d A_2 * \sqrt{\frac{1}{(1 - \beta^4)}} * \sqrt{(2(P_1 - P_2)/\gamma)}$$

Fuente: elaboración propia, 2013

$$Q = C_d A_2 * \sqrt{\frac{1}{(1 - \beta^4)}} * \sqrt{(2(P_1 - P_2)/\gamma)}$$

Ecuación 3. Tasa de flujo teórico con aplicación coeficiente de descarga -  $C_d$

Al introducir el “coeficiente -C”, definido como  $C = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \beta^4}}$ , en la Ecuación 3 se obtiene la ecuación final (Ecuación 4) para el cálculo de la tasa de flujo volumétrico “Q” de un fluido a través de un orificio.

$$Q = C * A_2 * \sqrt{(2(P_1 - P_2)/\gamma)}$$

Ecuación 4. Tasa de flujo volumétrico “Q” a través de un orificio

En la Tabla 4 se relacionan las variables utilizadas para el cálculo de la tasa de flujo volumétrico “Q”, con las respectivas siglas y unidades correspondientes.

Tabla 4. Variables para el cálculo de la tasa de flujo volumétrico “Q”

Variables	Sigla	Unidades
Tasa de flujo Volumétrico – Caudal	Q	m <sup>3</sup> *s <sup>-1</sup>
Coeficiente de descarga	C <sub>d</sub>	Adimensional
Coeficiente de flujo del orificio	C	Adimensional
Área de la sección de la tubería	A <sub>1</sub>	m <sup>2</sup>
Área de la sección del orificio	A <sub>2</sub>	m <sup>2</sup>
Diámetro de la tubería	d <sub>1</sub>	m
Diámetro del orificio	d <sub>2</sub>	m
Factor “Beta” (relación entre el diámetro del orificio y el diámetro de la tubería)	β	Adimensional
Velocidad del fluido aguas arriba	v <sub>1</sub>	m*s <sup>-1</sup>
Velocidad del fluido a través del orificio	v <sub>2</sub>	m*s <sup>-1</sup>
Presión del fluido aguas arriba (P <sub>a</sub> )	P <sub>1</sub>	Kg*(m <sup>-1</sup> *s <sup>-2</sup> )
Presión del fluido aguas abajo (P <sub>a</sub> )	P <sub>2</sub>	Kg*(m <sup>-1</sup> *s <sup>-2</sup> )
Densidad del fluido	γ	Kg*m <sup>-3</sup>

Fuente: adaptado de White, 2008.

#### 6.4.1.2. Aireadores / Mezcladores

Estos dispositivos permiten mezclar el flujo de agua que sale de las conexiones hidráulicas con una masa de aire al efectuar la succión del fluido, dando como resultado una mezcla entre agua y aire, lo que disminuye el caudal de agua que pasa por el dispositivo (Figura 3).



Figura 3. Dispositivo aireador - mezclador

Fuente: <http://bathroom-kitchen-faucets.com/es/category/faucet-aerators/>

La explicación física a este fenómeno se obtiene al aplicar el *Efecto Venturi* (White, 2008): “movimiento de un fluido (agua) dentro de un conducto cerrado que disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por un área con una contracción, lo anterior produce una succión del fluido (aire) contenido en este segundo conducto” (Figura 4).

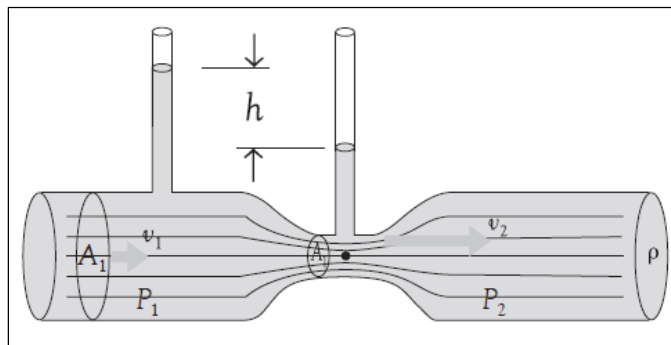


Figura 4. Esquema Efecto Venturi

Fuente: Adaptado de Saenz Forero, 1984

El Efecto Venturi se explica por medio del principio de Bernoulli, principio de continuidad de la energía (White, 2008). Si el caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, obligatoriamente la velocidad aumenta tras atravesar esta sección. Por el teorema de conservación de la energía mecánica, si la energía cinética aumenta, la energía determinada por el valor de la presión disminuye como se expresa en la Ecuación 4 (Saenz Forero, 1984).

#### 6.4.1.3. Desplazadores - Reguladores de Volumen

Es la reducción del volumen de descarga debido al desplazamiento ocasionado por un sólido o a la instalación de un dispositivo de descarga controlada. Los inodoros con cisterna baja pueden ahorrar agua mediante la incorporación de un sistema de descarga que permite al usuario escoger entre dos volúmenes distintos (6 a 9 litros ó 3 a 4 litros), ajustando el volumen requerido. El pulsador permiten diferenciar las dos opciones, cada una descarga un volumen determinado de agua, siendo las combinaciones más comunes de 6 y 4 litros para sólidos y líquidos respectivamente. Este sistema se adapta a la mayoría de cisternas (Figura 5).

En un sanitario con un volumen de nueve (9) litros y asumiendo cuatro (4) descargas por habitante se obtiene una dotación de  $36 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ . Al instalarse este sistema de doble descarga y regulador de volumen y bajo las condiciones planteadas aquí, es posible obtener un ahorro aproximado del 45%, debido a que se asumen dos (2) descargas de 6 y 4 litros (sólidos y líquidos respectivamente), lo que permite obtener una dotación de  $20 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$  para esta unidad hidrosanitaria (Manco Silva, Guerrero Erazo, & Ocampo Cruz, 2012).

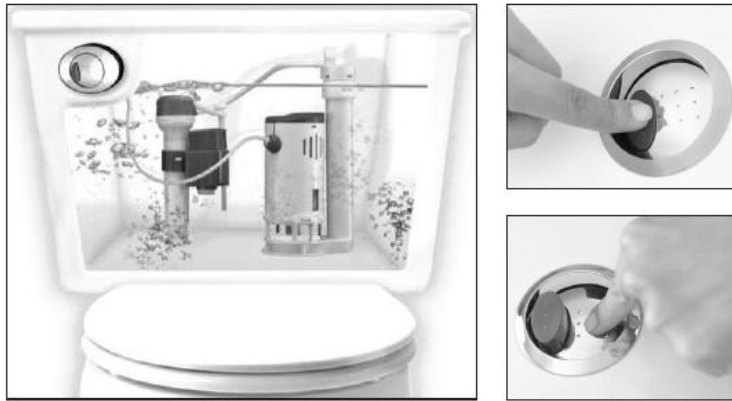


Figura 5. Sistema doble descarga y regulador de volumen para inodoros.  
Fuente: Bourguett Ortiz, et al., 2003.

### 6.5. Estudios referentes sobre uso eficiente y ahorro de agua

Las experiencias citadas a continuación, han sido desarrolladas a partir del análisis de las diferentes variables que afectan la demanda de agua de uso residencial.

Arbués García, Barberán Ortí, & Villanúa Martín (2008) realizaron un estudio de la relación entre el *tamaño de los hogares* y el *consumo doméstico* en la ciudad de Zaragoza (España) y obtuvieron que el *tamaño de los hogares* y el *consumo total* tienen relación directa, donde el consumo aumenta a medida que incrementa el número de habitantes por vivienda ( $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{vivienda}^{-1}$  con un solo integrante hasta  $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{vivienda}^{-1}$  con cinco o más integrantes); entre el *tamaño de los hogares* y el *consumo per cápita* la relación es inversa, lo que sugiere la presencia de economías de escala en el consumo de agua, asociadas al beneficio simultáneo de una serie de usos comunes (independientemente de la cantidad de integrantes), tales como limpieza del hogar y el máximo aprovechamiento de los electrodomésticos.

Arbués, García-Valiñas, & Martínez-Espiñeira (2003) y Arbués García & Barberán Ortí (2005) evaluaron la relación entre el *tamaño de los hogares* y los *costos de transacción*, y se concluyó que la capacidad de organizar y supervisar la introducción de nuevas prácticas orientadas a mejorar el uso de los equipamientos, dispositivos e instalaciones relacionados con el consumo de agua es más reducida, si más personas integran el hogar.

Otros estudios han arrojado resultados que demuestran a través de cifras, los diferentes niveles de ahorro de agua en el sector residencial, según los programas de conservación empleados. A continuación se describen algunos de estos.



Entre los años 1997 y 1999 se llevó a cabo el proyecto “Zaragoza, ciudad ahorradora de agua. Pequeños pasos, grandes soluciones”, el cual, un año después de ser implementado consiguió ahorrar 1.176 millones de litros de agua (equivalente al 5,6% del consumo residencial anual). Al finalizar el proyecto, se identificó que el número de familias que adoptaron hábitos de ahorro de agua paso de 20% a 50% y el número de familias que introdujeron tecnologías eficientes paso de 13% a 15% (Fernández Soler & Viñuales Edo, 1999).

Maddaus (1984) y Terrebonne (2005) presentaron un estudio de resultados obtenidos en proyectos de investigación en el consumo de agua de uso residencial que han evaluado los efectos de dispositivos ahorradores de agua (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados obtenidos a partir de prácticas de conservación de agua

<i>Práctica de conservación de agua</i>	<i>Ahorro de agua observado</i>
Instalación de medidores de agua	20%
Reparación de fugas del inodoro	105,7 l*día <sup>-1</sup> *inodoro <sup>-1</sup>
2,20 litros por descarga del sanitario	86,33 l*habitante <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup>
15,41 litros por descarga del sanitario	35,24 l*habitante <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup>
Kits de modificación	17,62 a 30,83 l*habitante <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup>
Lavadoras eficientes	7,48 l*habitante <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup>
Lavaplatos eficientes	4,40 l*habitante <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup>

Fuente: Elaborada a partir de Maddaus, 1984 & Terrebonne, 2005

Renwick & Green (2000) llevaron a cabo un estudio en el que se evaluaron programas de ahorro de agua en California, USA y sus efectos en el consumo de agua de uso residencial, del cual se obtuvo que mediante la aplicación del programa “kits de modificación” que consistía en la distribución gratuita de kits ahorradores de agua se lograra reducir el consumo de agua de uso residencial en un nueve por ciento (9%).

A su vez, Barberan Ortí & Salvador Figueras (2010), realizaron un estudio del uso de agua en la ciudad de Zaragoza (España), el cual tenía como objetivo conocer los factores que afectan al consumo de agua de los hogares. La investigación arrojó como resultado que la diferencia del consumo antes y después de la intervención a partir de la instalación de dispositivos ahorradores de agua era de 9,45 litros\*día<sup>-1</sup>.

La organización ECODES (2011) señala en la Tabla 6 los resultados obtenidos a través de la implementación del Plan Integral de Ahorro del Agua (PIAA) de Vitoria-Gasteiz, ejecutado en el año 2004.

Tabla 6. Resultados a partir de la implementación del PIAA de Vitoria-Gasteiz

<i>Indicadores</i>	<i>Previsiones iniciales</i>	<i>Logros obtenidos</i>
Dotación	Menos de 267 l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> **299 l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup>	260 l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup>
Ahorro de agua (respecto al año 2004)	1.000 millones de Litros (reto colectivo ciudadano)	1.893 millones de litros (términos brutos) 3.357 millones de litros (términos relativos)
% de reducción del consumo total de agua en la ciudad	6%	12,5% frente al consumo de 2001 9,0% frente al consumo de 2004

% de reducción en el consumo doméstico por hab*día <sup>-1</sup> .	10,8%	6,9% frente al consumo de 2001 14% frente al consumo de 2004
--	-------	---

---

\*\*Datos correspondientes al año 2003, anterior al inicio del plan.

---

Fuente: ECODES, 2011.

Un método particular de la gestión de la demanda de agua en los hogares es la implementación de dispositivos ahorradores de alta eficiencia, respecto a los cuales se ha realizado gran cantidad de estudios (utilizando medidores de alta resolución) en donde se demuestra que éstos generan un ahorro o una disminución en la demanda de agua. Lee, Tansel, & Balbin (2011) en su estudio realizado en Estados Unidos, encontraron que los dispositivos de mayor consumo en los hogares son las baterías sanitarias, las lavadoras y las duchas con un porcentaje de consumo de 26,7%, 21,7% y 16,8% respectivamente, sin embargo estos mismos dispositivos (calificados como de alta eficiencia) lograron un ahorro entre el 12,2% y 15,6% con respecto al consumo total de la vivienda.

Similar al anterior, Willis R. M., Stewart, Panuwatwanich, Williams, & Hollingsworth (2011) establecieron en Australia que los consumo para estos mismos dispositivos (baterías sanitarias, lavadoras y duchas) son 31%, 20% y 14%, y según el nivel de eficiencia estos mismos pueden llegar a disminuir el consumo hasta en un 24%. Por su parte Taleb & Sharples (2011), llevaron a cabo un estudio en Arabia Saudí, donde encontraron que una vivienda con tecnologías de ahorro o bajo consumo puede reducir hasta un 55,4% la demanda de agua de uso residencial.

Un estudio que se puede mencionar bajo este esquema es el de Beal, Stewart, & Fielding (2013) en el cual, a pesar de no estar dirigido a la determinación de un patrón de consumo en las viviendas, presenta en su investigación el consumo de tres tipos de vivienda en Australia, según la percepción de sus habitantes acerca de su consumo de agua, encontrándose dos picos de consumo para las tres muestras (uno en la mañana y otro en la tarde) con horarios entre las 7 y 10 horas y de las 18 a 20 horas. Nuevamente en este estudio se muestra que los mayores consumos se dan por el uso de duchas, lavadoras y baterías sanitarias.

Por su parte, Carragher, Stewart, & Beal (2012) realizaron un estudio para cuantificar la influencia de dispositivos de uso eficiente en patrones de consumo diurno en Australia, para el cual se encontraron dos picos (mañana y tarde) de máximo consumo, el primero entre las 9 y las 10 horas y el segundo de 18 a 19 horas, con caudales de 8 a 12 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>. Este mismo estudio revela que dispositivos de alta eficiencia pueden llegar a lograr reducciones de hasta 25%. Así mismo, Taborda, Góngora, & Garzón (2009) identificaron un patrón de consumo de agua de uso residencial para la ciudad de Santiago de Cali, Colombia, donde se encuentran igualmente dos picos con horarios de mayor consumo, el primero entre las 10 y las 11 horas y el segundo a las 16 horas.

Las experiencias citadas, demuestran cómo los programas instaurados para la conservación del agua, han logrado un impacto significativo en el consumo de agua de

uso residencial, lo que refleja ahorro en comparación con datos históricos. El nivel de detalle que reflejan los estudios son ideales para facilitar la selección de instrumentos de gestión de demanda (Cobacho Jordán, Ribelles Aguilar, & Iglesias Rey, 1998).

## 7. METODOLOGÍA

A continuación se relacionan los objetivos y la forma como serán alcanzados cada uno de ellos (Figura 6).

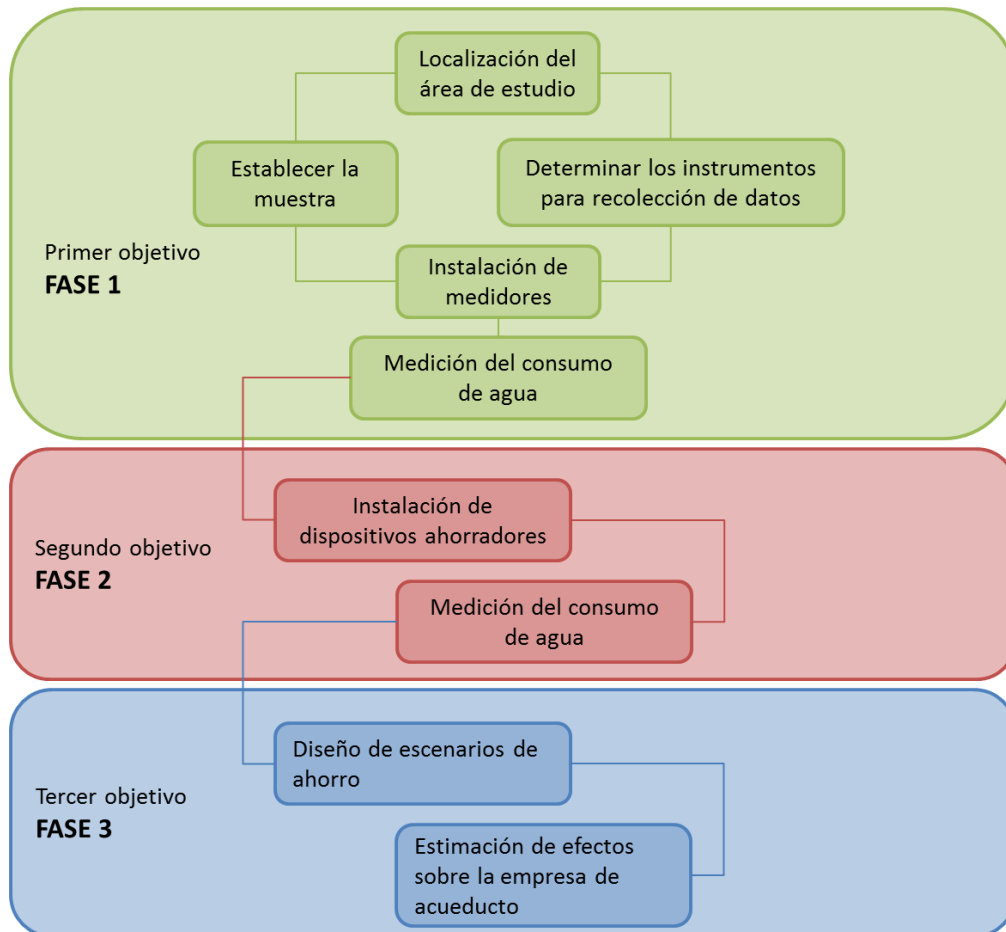


Figura 6. Metodología de estudio

### 7.1. Objetivo 1: Definir los patrones de consumo de agua en las viviendas del área de estudio.

#### 7.1.1. Localización del área de estudio

La ciudad de Pereira, Risaralda, Colombia, se encuentra localizada en un valle de la cordillera central a los 4°49'55" de latitud norte y 75°42'50" de longitud oeste. La extensión es de 607,7 km<sup>2</sup> de los cuales 29 km<sup>2</sup> corresponde al área urbana. Su población según el censo del DANE de 2005 y la proyección al año 2012 es de 428.397 habitantes, de los cuales el 83,7% (358.681 habitantes) se encuentran localizados en la zona urbana. La investigación tuvo como población de estudio los usuarios residenciales del estrato uno (20.594 usuarios) y dos (34.109 usuarios) de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. "Aguas & Aguas de Pereira", para una total de 54.703 usuarios (Figura 7).

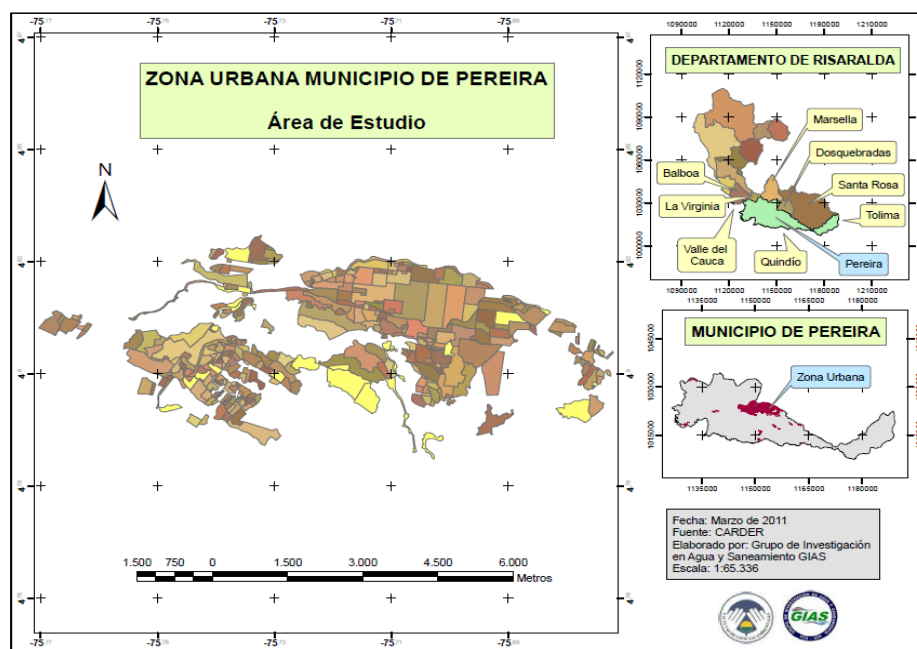


Figura 7. Esquema espacial del área de estudio

Fuente: Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento – GIAS – Universidad tecnológica de Pereira, 2011

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentan las características socioeconómicas de los usuarios estratos uno y dos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. “Agua y Agua de Pereira –A&A de Pereira” y se asumió como válido el ciento por ciento de los datos.

Tabla 7. Características Socioeconómicas de los estratos uno y dos

Característica	Unidades	Estrato		Fuente o valor de referencia
		Uno	Dos	
Población	Usuarios	20594*	34109*	
Número de Habitantes por vivienda	Hab*Viv <sup>-1</sup>	3,6	3,8	3,6*
Ingreso promedio mensual	SMMLV	0,5 - 2,0	1,0 - 4,0	-

Fuente: elaboración propia, 2013; \*datos suministrados por Aguas y Aguas

### 7.1.2. Determinación del plan de muestreo

Se determinó la muestra para poblaciones finitas (Chao, 1994) mediante el método de muestreo de tipo probabilístico aleatorio (Ecuación 5).

$$\left( n = \frac{N * Z_e^2 * \sigma^2}{e^2 * (N - 1) + Z_e^2 * \sigma^2} \right)$$

Ecuación 5. Muestro probabilístico aleatorio

Dónde: n= muestra poblacional; N= Población; Z<sub>e</sub>= estadístico: 1,96 para una confiabilidad del 95%; σ<sup>2</sup>= varianza poblacional; e= error sobre el promedio, por lo que la muestra para este estudio es de 31 usuarios, once (11) usuarios del estrato uno y veinte (20) del estrato dos.

Una vez calculado el número de muestra, se decidió organizar el proceso de muestreo por sectores (barrios) con selección completamente aleatoria sobre la base de datos entregada por “*Aguas y Aguas de Pereira*” para los estratos uno y dos, ésta selección se hizo con la técnica de muestreo probabilístico (azar simple, utilizando tabla de números aleatorios) y luego, se solicitó la aprobación y participación de los usuarios en el proyecto. Lo anterior con el fin de iniciar la instalación de los medidores volumétricos de media pulgada (*Altair V4 - R160*) a la entrada y en las unidades hidrosanitarias de la vivienda. Estos equipos de medición están dotados con módulos radio *IZAR CP 434 MHz* (emisor de pulso), que envía los registro de datos de consumo de agua a la unidad concentradora de datos *GPRS RECEIVER*. Una vez instalados los contadores de agua se inicia la medición del consumo durante siete días continuos, y posterior a esto se implementan los dispositivos tecnológicos y se hace la medición del consumo nuevamente para un periodo igual al anterior.

### **7.1.3. Identificación de los elementos del sistema medición de agua**

Es importante mencionar que los elementos que se exponen a continuación fueron los seleccionados y utilizados en el proyecto de investigación, debido a que este método de medición de agua permitía obtener lecturas hora a hora de cada medidor instalado en el área de estudio y con esto definir los patrones de consumo de agua. Además la Universidad Tecnológica de Pereira –UTP contaba con ellos y facilitaba su préstamo para la realización del estudio. A continuación se hace referencia a los elementos utilizados y su funcionalidad con el fin de explicar el tipo de elementos utilizados. En la Figura 8 se muestran los elementos que componen el sistema de telemetría.

#### **7.1.3.1. Módulo de radio frecuencia Izar® R3.5**

El módulo Izar CP 434 funciona bajo el protocolo Prios a una frecuencia de 434,47 MHz y es compatible con los medidores modulares de SAPPEL. Las unidades de radio Izar son fáciles de instalar y son programables por el número de identificación del medidor asociado. Los módulos de radio Izar CP transmiten la lectura del medidor a través de un enlace de radio unidireccional a la unidad concentradora de lecturas GPRS Receiver que actúa como un receptor de señales de radio Izar® (*R3, R3.5*). Los módulos de radio Izar ofrecen una serie de funciones (índice en la fecha de aniversario, vida de la batería), alarmas como fugas, medidor bloqueado y flujo de agua inverso). La batería fija permite un manejo independiente de aproximadamente 15 años de uso estándar.

#### **7.1.3.2. Micromedidor de media pulgada Altair Composite V4**

El micromedidor *Altair V4® Composite* es un medidor volumétrico desarrollado y aprobado bajo la normativa internacional ISO 4064 o MID Europea. *Altair V4® Composite* es un eco-concepto con miras al desarrollo sostenible, es la perfecta alianza de una metrología de alto nivel (caudal de arranque de 0.5 l/h, R-160) compuesto por materiales en aleación de plástico y fibras que generan bajo impacto en el medio ambiente. El caudal nominal ( $Q_3$ ) del micromedidor es de 2,5 m<sup>3</sup>/h.

### 7.1.3.3. Hardware GPRS Receiver

El GPRS Receiver es un receptor de señales de radios Izar® (R3, R3.5) que actúa como concentrador de lecturas. Le permite recoger datos de forma remota vía radio de medidores equipados con un sistema radio Izar SAPPOL®. La unidad GPRS Receiver envía los datos a través de GSM a un servidor FTP (File Transfer Protocol), a intervalos programables (desde 1 a 99 horas). El usuario puede acceder a los datos en cualquier momento. Los parámetros de la unidad GPRS Receiver se pueden programar a través de un enlace Bluetooth. La unidad GPRS Receiver, está equipada con una tarjeta SIM, la cual permite leer hasta 1.000 medidores equipados con radio Izar®. El GPRS Receiver está automáticamente habilitado para el computador usando el Software Izar® GPRS BDD y/o Izar® Task.

### 7.1.3.4. Software Izar® Task

La aplicación Izar Task® permite procesar datos, visualiza la curva de las lecturas de cada medidor por medio de diagramas de barras y tablas, como el promedio de consumo hora a hora, de acuerdo a la frecuencia programada en el radio módulo Izar. Además, permite visualizar, los siguientes eventos: índice real del contador, índice en fecha determinada para el corte de facturación, autonomía restante de la batería, detección de fugas, medidor parado, alarma de fraude mecánico, alarma de fraude magnético, alarma de reflujo de agua, alarma de exceso de caudal, alarma de falta de caudal. Para la instalación de la aplicación se requiere como mínimo el siguiente software y hardware: sistema operativo: Windows XP SP2 o Vista; procesador: mínimo de 2 Ghz; memoria: 512 MB; disco duro: 4 GB; conexión a internet con acceso a FTP: 190.144.31.78 y aplicación: ActiveSync.

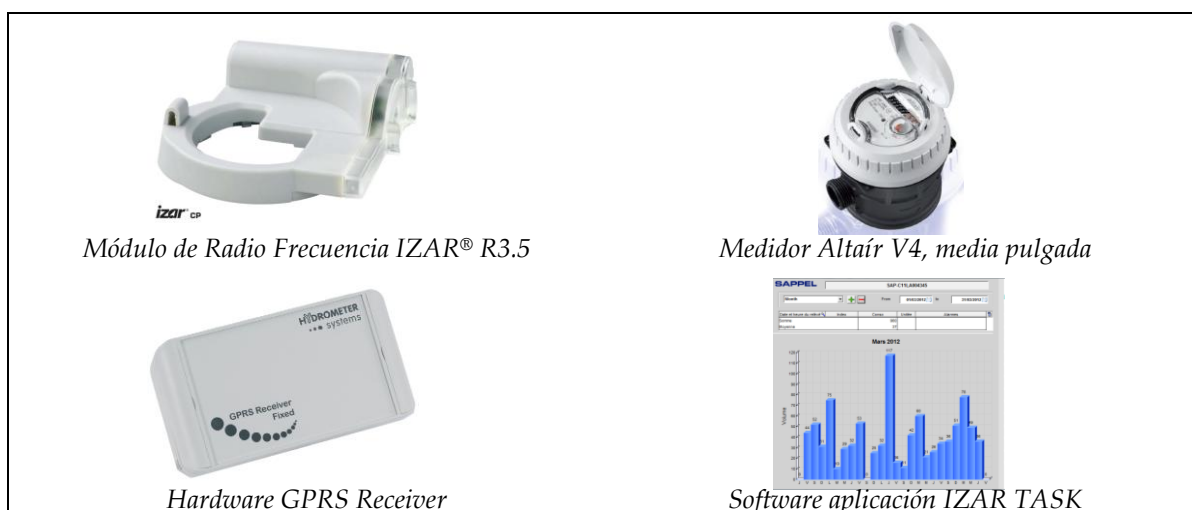


Figura 8. Elementos del sistema de telemetría.

Fuente: Elaboración propia, 2013

#### 7.1.3.5. Funcionamiento del sistema de telemetría

Los medidores volumétricos *Altair V4 - R160*, previamente equipados y configurados con el módulo de radio frecuencia Izar, envían los registros hora a hora del consumo de agua a la unidad concentradora de datos GPRS Receiver, esta unidad por medio de la *Sim-card* con tecnología GSM envía la información al *servidor FTP*, disponibles vía internet, donde se pueden consultar al centro de gestión de datos de abastecimiento (concentrador central). La información recolectada posteriormente es tabulada y analizada en el software *IZAR TASK®* y Microsoft Excel, que permiten procesar los datos, y construir las curvas de las lecturas de cada medidor, es decir los patrones de consumo de agua (Figura 9).

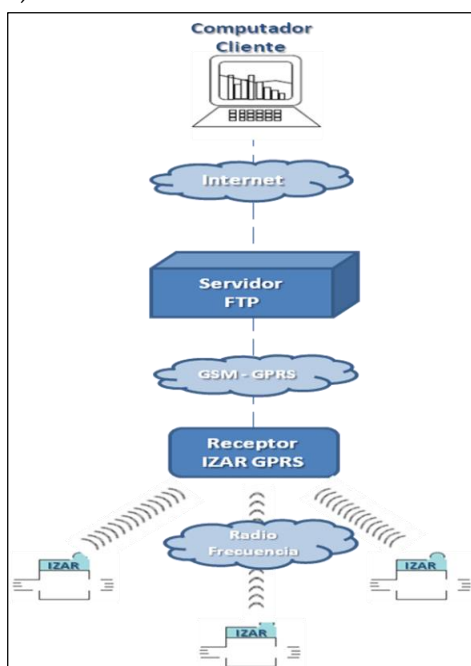


Figura 9. Esquema de funcionamiento del Sistema de telemetría.  
Fuente: Hidromed S.A.

#### 7.1.4. Recolección de datos

La técnica utilizada para la recolección de datos fue por telemetría para cada medidor, que se encontraba ubicado en las unidades hidrosanitarias y por entrevistas personales en hogares, con un grupo objetivo de usuarios pertenecientes a los estratos uno y dos que reciben el servicio de acueducto por parte de “*Aguas & Aguas de Pereira*”.

El registro del consumo de agua para cada usuario seleccionado se hizo de forma continua durante una semana, lo anterior basado en el estudio sobre el patrón de consumo doméstico realizado por Taborda, Góngora & Garzón (2009) y por la *AWWA Research Foundation* (Bowen & AWWA, 1993), en el que se realizaron mediciones durante una semana en 706 viviendas, localizadas en cinco ciudades de los Estados Unidos. Durante esta primera semana se realizó, la detección de pérdidas físicas de agua y medición del consumo en la vivienda, determinando los volúmenes de agua, que posteriormente se relacionan en indicadores de medida expresados en la Tabla 8.



Tabla 8. Indicadores de consumo de agua sin dispositivos.

Indicador	Unidad	Frecuencia
Consumo de agua por usuario	Litros*usuario <sup>-1</sup>	Cada hora
Dotación real sin dispositivos ahorradores	Litros*habitante <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup>	Diario
Volumen de agua consumido al mes	m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup>	Proyección mensual
Promedio de consumo de agua histórico	m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup>	Única
Número de unidades hidrosanitarias con fugas físicas	Unidad	Única
Valor facturado mensual por consumo de agua	\$*usuario <sup>-1</sup> *mes <sup>-1</sup>	Única

Fuente: elaboración propia, 2013

## 7.2. Objetivo 2: Diseñar escenarios de consumo de agua bajo la implementación de diferentes tecnologías ahorradoras.

### 7.2.1. Reparación de fugas e instalación de dispositivos ahorradores

En la segunda semana (fase dos) se realizó la reparación de las fugas físicas de agua, debido a que ésta es la primera estrategia que se debe considerar en todo escenario que se quiera hacer un uso eficiente y ahorro de agua. Luego se instalaron los dispositivos de ahorradores en duchas (cabezal con reductor de caudal), grifos de lavamanos y lavaplatos (aireadores) e inodoro (válvula con sistema de doble descarga y regulación de volumen).

En esta fase dos del proyecto se realizó la recolección de datos bajo el mismo método del primer objetivo, identificados en el ítem 7.1.3 y 7.1.4. De esta forma se determinó los volúmenes de consumo para cada uso (aseo personal, consumo alimentos, aseo vivienda y pérdidas de agua), permitiendo evaluar el impacto generado por las estrategias implementadas (Tabla 9).

Tabla 9. Indicadores de consumo de agua con dispositivos.

Indicador	Unidad	Frecuencia
Consumo de agua por usuario	Litros*usuario <sup>-1</sup>	Cada hora
Dotación real con dispositivos ahorradores	Litros*habitante <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup>	Diario
Volumen de agua consumido al mes	m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup>	Proyección mensual
Promedio de consumo de agua histórico	m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup>	Única
Índice de reducción en el consumo	Porcentaje	Única
Número de puntos con dispositivos instalados	Unidad	Única
Número und. hidrosanitarias con fugas y goteos eliminadas	Unidad	Única
Disminución en el pago por consumo de agua	\$*usuario <sup>-1</sup>	Única
Índice de disminución en el pago del consumo por usuario	Porcentaje	Única

Fuente: elaboración propia, 2013

## 7.3. Objetivo 3: Evaluar los escenarios en términos del consumo eficiente de agua y sus efectos financieros sobre la empresa.

### 7.3.1. Construcción del modelo de simulación

Se realizó un modelo del consumo de agua de uso residencial para los estratos uno y dos a partir de la información recopilada en la primera y segunda fase de la investigación, para este objetivo se utilizó el software *Stella*® v9.1.4, en el que se estableció el modelo empírico, con sus respectivos niveles, flujos y variables.

### **7.3.2. Pruebas de análisis de sensibilidad**

Posterior a esta actividad se realizaron pruebas con análisis de sensibilidad con el fin de validar y establecer los escenarios de consumo de agua frente a la implementación de dispositivos ahorradores de agua (opción tecnológica) y a la detección y reparación de fugas. Así, se estimó un consumo eficiente, seleccionando el escenario que logró mayor reducción en el consumo de agua de uso residencial (escenario óptimo) en los usuarios estratos uno y dos de la empresa prestadora del servicio de agua potable y alcantarillado S.A. E.S.P. de la ciudad de Pereira.

### **7.4. Análisis de la información**

La información recolectada fue tabulada y analizada en el software *Izar Task*® (numeral 7.1.3.4) y *Microsoft Excel*®, que permitió procesar los datos y construir las curvas de consumo de cada usuario, por medio de diagramas de barras y tablas, con lo cual se definieron los patrones de consumo de agua para los usuarios residenciales de los estratos uno y dos. Posteriormente, se realizó análisis comparativo de los valores de consumo de agua en *Microsoft Excel*® para determinar diferencias porcentuales y se hizo análisis de varianza – Anova (software *Statistical Package for Social Sciences – SPSS Statistics 20*) a estos datos con el fin de determinar las diferencias significativa en el uso de dispositivos ahorradores. Las diferencias porcentuales en el consumo fueron utilizadas en la construcción del modelo en *Stella*® v9.1.4., el cual es un programa que permite modelar y simular diferentes escenarios y con una interfaz sencilla, facilitando la manipulación de todas las variables involucradas, adicionalmente, se escogió este programa porque ya se contaba con la licencia de uso por parte de la Universidad Tecnológica de Pereira.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. Patrón consumo de agua de uso residencial en los estratos uno y dos de la ciudad de Pereira

En la Tabla 10 se presentan los estadísticos descriptivos del consumo de agua de la población de usuarios residenciales de los estratos uno y dos, encontrando para el estrato uno una media de  $13,96 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$  y una mediana de  $12,70 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ , una desviación estándar de  $8,28 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$  y un rango de  $175 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ , en el estrato dos se encontró una media igual a  $14,51 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ , una mediana de  $13,10 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ , una desviación estándar de  $7,91 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$  y un rango de  $171 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$  (Figura 10). Adicionalmente, se realizó la prueba de Grubbs con el fin de descartar valores atípicos con criterio estadístico (*la prueba de Grubbs permite verificar si los valores atípicos presentes en un grupo de datos son errores o son casos poco frecuentes*). La población del estrato uno y dos con la aplicación del filtro, límite superior encontrado en la *prueba de Grubbs* (consumo  $< 53 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ ) arrojó un nuevo valor para la media, reduciéndose a  $13,75$  y  $14,37 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$  respectivamente, sin embargo la mediana se mantuvo igual para las dos poblaciones, la desviación estándar se redujo alrededor de un punto, llegando a  $7,28$  y  $7,32 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$  y un rango de  $52,90 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$  para los dos estratos, convirtiéndose en el nuevo límite superior (Figura 10).

Tabla 10. Estadísticos descriptivos consumo residencial estrato uno y dos

Variable: Consumo residencial		Estadístico Estrato Uno-E1		Estadístico Estrato Dos-E2	
		Sin filtro ( $\text{m}^3\text{mes}^{-1}$ )	Con filtro ( $< 53 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ )	Sin filtro ( $\text{m}^3\text{mes}^{-1}$ )	Con filtro ( $< 53 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ )
Media		13,96	13,75	14,51	14,37
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	13,85	13,65	14,43	14,29
	Límite superior	14,07	13,85	14,59	14,44
Media recortada al 5%		13,33	13,27	13,95	13,91
Mediana		12,70	12,70	13,10	13,10
Varianza		68,53	52,97	62,60	53,65
Desviación típica		8,28	7,28	7,91	7,32
Mínimo		0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo		175	52,90	172	52,90
Rango		175	52,90	172	52,90
Amplitud intercuartil		8,33	8,30	8,60	8,50
Asimetría		3,31	1,20	2,23	1,14
Curtosis		35,02	2,70	16,62	2,29

Fuente: elaboración propia, 2013; datos suministrados por Aguas y Aguas

Con el fin de comprobar la existencia o no de diferencias significativas entre los dos estratos residenciales, se confirmó la normalidad de los datos poblacionales. En la Tabla 11 se muestran los resultados de la prueba de normalidad para la variable *consumo residencial* ( $\text{m}^3\text{mes}^{-1}$ ), en el factor “*estrato*”. La hipótesis nula ( $H_0$ ) a contrastar es que los datos proceden de poblaciones con distribución normal. De acuerdo con esto, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (tamaño de muestra mayor que 50), donde se evidencia que para el estrato uno -E1 y estrato dos -E2 se rechaza la hipótesis nula de normalidad con una significancia igual a 0,000. Así, se establece que los datos

poblacionales del *consumo residencial* para los dos estratos, no proceden de poblaciones con distribución normal. Lo anterior define que el método más adecuado para el análisis de varianza (Anova) es una “*prueba No paramétrica*”, es decir para poblaciones que no cumplen con el supuesto de normalidad.

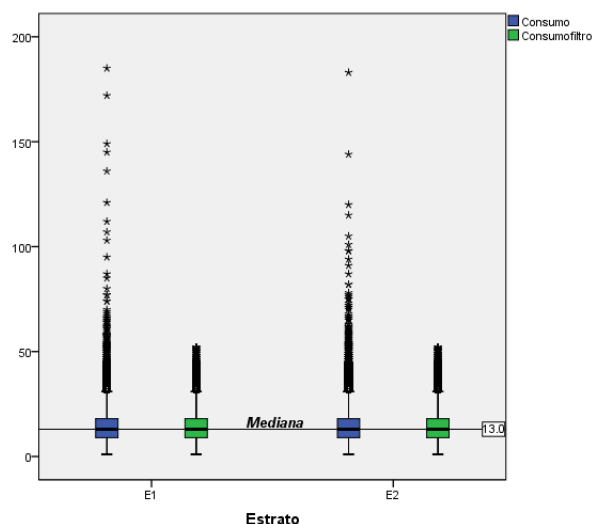


Figura 10. Consumo de agua con y sin prueba de Grubbs estrato uno y dos  
Fuente: elaboración propia, 2013; datos suministrados por Aguas y Aguas

Tabla 11. Pruebas de normalidad del para toda la población

Factor: estrato		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
		Estadístico	Gl	Sig.
Consumo residencial (m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup> )	E1	0,097	20.594	0,000
	E2	0,088	34.109	0,000

Fuente: elaboración propia, 2013; datos suministrados por Aguas y Aguas.

De igual forma la prueba de normalidad se realizó para los datos a los cuales, a través de la prueba de *Grubbs*, se comprobaron como datos pertenecientes a una misma población (54.541 de 54.703 registros), sin embargo el haber rechazado 162 datos atípicos no favoreció el comportamiento normal de la variable *consumo residencial*. Lo anterior permite rechazar la *Ho. de normalidad*, con una significancia igual a 0,000 para los dos estratos residenciales (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba de normalidad después del test de Grubbs

Factor: estrato		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
		Estadístico	Gl	Sig.
Consumo residencial (m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup> )	E1	0,078	20.520	0,000
	E2	0,079	34.021	0,000

Fuente: elaboración propia, 2013; datos suministrados por Aguas y Aguas.

De acuerdo a lo anterior, dado que los datos no proceden de poblaciones con distribución normal (Tabla 11 y Tabla 12) y a fin de comprobar estadísticamente las diferencias encontradas, se realizó el análisis de varianza univariante (*prueba no-paramétrica*) para muestras independientes, con el fin de evaluar el efecto del estrato

sobre la variable *consumo residencial* ( $m^3 \cdot mes^{-1}$ ). En la Tabla 13 se presenta los resultados de esta prueba en la que se evidencia que existen diferencias significativas entre el estrato uno y dos con respecto al *consumo residencial* con una significancia igual a 0,000.

Tabla 13. Anova Univariante consumo residencial

Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión		
La distribución de la variable Consumo residencial ( $m^3 \cdot mes^{-1}$ ) es la misma entre las categorías del estrato.	Prueba análisis de varianza univariante de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula.		
Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05.					
Variable dependiente: consumo residencial ( $m^3 \cdot mes^{-1}$ ).					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3803,355 <sup>a</sup>	1	3803,355	58,663	0,000
Intersección	10411114,68	1	10411114,68	160581,148	0,000
Estrato	3803,355	1	3803,355	58,663	0,000
Error	3546483,463	54701	64.834		
Total	14743165,22	54703			
Total corregida	3550286,818	54702			
a. R cuadrado = 0.001 (R cuadrado corregida = 0.001)					

Fuente: elaboración propia, 2013; datos suministrados por Aguas y Aguas.

En la Tabla 14 se relaciona el cuadro de medias y medianas para la población y la muestra de los estratos evaluados para la variable *consumo residencial*, la cual revela entre estratos una diferencia en la población de  $0,5 m^3 \cdot mes^{-1}$  en la media y en la mediana de  $0,4 m^3 \cdot mes^{-1}$ , estas diferencias estadísticas son significativas entre los dos estratos residenciales. En cuanto a los datos de la muestra, se presenta una diferencia de  $4,2 m^3 \cdot mes^{-1}$  en la media y en la mediana de  $5,67 m^3 \cdot mes^{-1}$ .

Tabla 14. Estadísticos del consumo según estrato residencial

Estrato	Media ( $m^3 \cdot mes^{-1}$ )		Mediana ( $m^3 \cdot mes^{-1}$ )	
	Población	Muestra	Población	Muestra
E1	13,96	10,38	12,70	8,52
E2	14,50	14,55	13,10	14,19
Total	14,30	-	13,00	-

Fuente: elaboración propia, 2013; datos suministrados por Aguas y Aguas.

### 8.1.1. Tendencia del consumo de agua estrato uno

La Figura 11 muestra la tendencia del *consumo de agua residencial* ( $m^3 \cdot mes^{-1}$ ) durante el periodo 2004 – 2012, para la población y la muestra seleccionada del estrato uno. En esta figura se evidencia el comportamiento decreciente que ha experimentado el promedio del consumo de agua de uso residencial, con una tasa de decrecimiento mensual de  $-0,0431 m^3 \cdot mes^{-1}$  ( $-0,52 m^3 \cdot año^{-1}$ ).

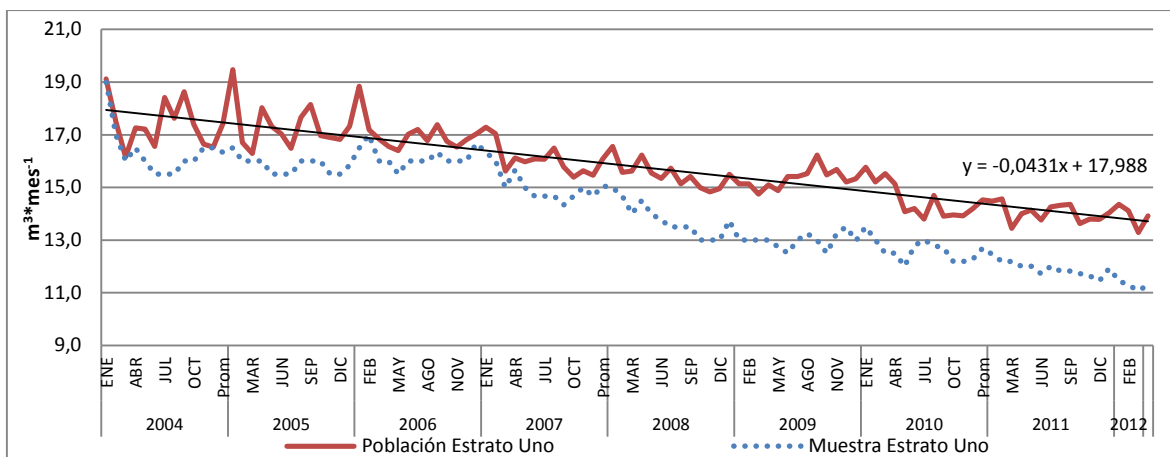


Figura 11. Tendencia del consumo de agua residencial estrato uno  
Fuente: elaboración propia, 2013; datos suministrados por Aguas y Aguas

### 8.1.2. Patrón consumo de agua estrato uno

El patrón de consumo de agua para el estrato uno muestra que entre la 1 y las 4 horas se presenta en promedio un consumo de agua de  $1,0 \text{ l}^*\text{h}^{-1}$ , este valor está asociado quizás a fugas presentes en las instalaciones hidráulicas de las viviendas, a partir de las 5 horas se inician las actividades que conllevan el uso del agua incrementando el consumo a  $19 \text{ l}^*\text{h}^{-1}$  a las 9 horas, y se observa un primer pico de consumo hasta las 13 horas, con el mayor caudal a las 11 horas con  $44 \text{ l}^*\text{h}^{-1}$  (Figura 12). El segundo pico se presenta entre las 19 y las 21 horas, denotando cierta disminución en el consumo hasta  $3,0 \text{ l}^*\text{h}^{-1}$  al final del día, el promedio de consumo de agua en este estrato es de  $14 \text{ l}^*\text{h}^{-1}$ .

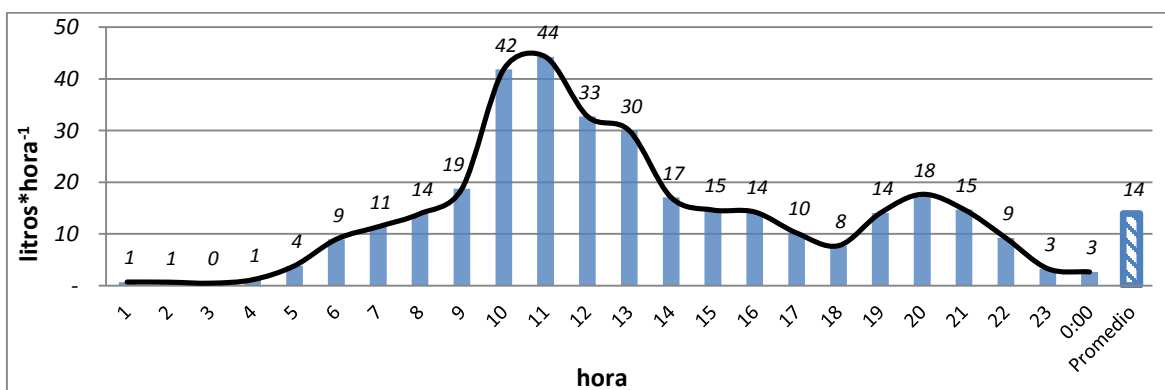


Figura 12. Patrón de consumo de agua potable estrato uno  
Fuente: elaboración propia, 2013

La dotación de agua diaria promedio en el estrato uno es de  $108 \text{ l}^*\text{hab}^{-1}*\text{día}^{-1}$ , siendo el día sábado el de mayor consumo con  $125 \text{ l}^*\text{hab}^{-1}*\text{día}^{-1}$  y el día lunes y martes los menores con  $98 \text{ l}^*\text{hab}^{-1}*\text{día}^{-1}$  (Figura 13).

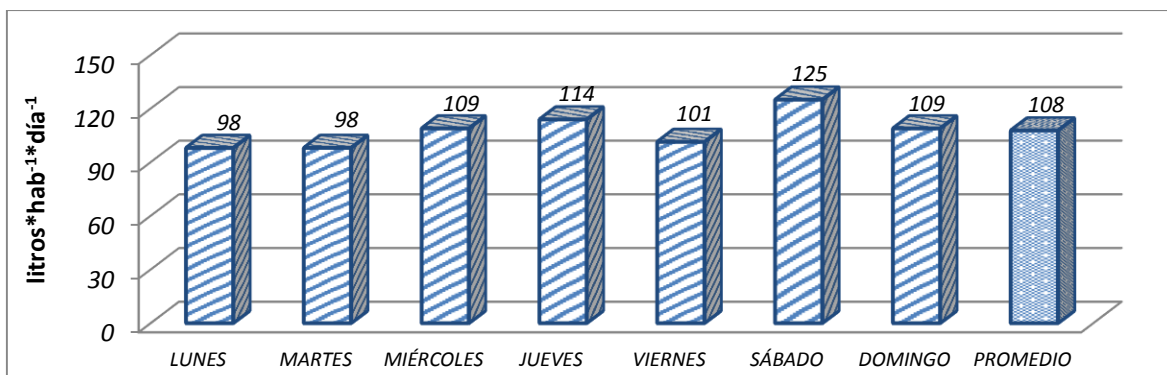


Figura 13. Dotación per-cápita diaria de agua estrato uno  
Fuente: elaboración propia, 2013

Una vez determinada la dotación en 108 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> para el estrato uno, se encontró que el lavadero es la unidad hidrosanitaria de mayor demanda de agua en la vivienda (27,3 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>) y la que mayor porcentaje de consumo representa frente a otras unidades (25,4%), por otra parte el lavamanos es el de menor demanda con un valor de 5,4 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> al igual que el de menor representación porcentual (5%). Se encontró que 1,0 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> se pierden quizás en fugas físicas en la red hidrosanitaria de la vivienda. A su vez solo 0,2 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> son utilizados en otros usos. La Figura 14 muestra la dotación para cada unidad hidrosanitaria y la Figura 15, la distribución porcentual del total de agua demandado por habitante en cada unidad hidrosanitaria de la vivienda.

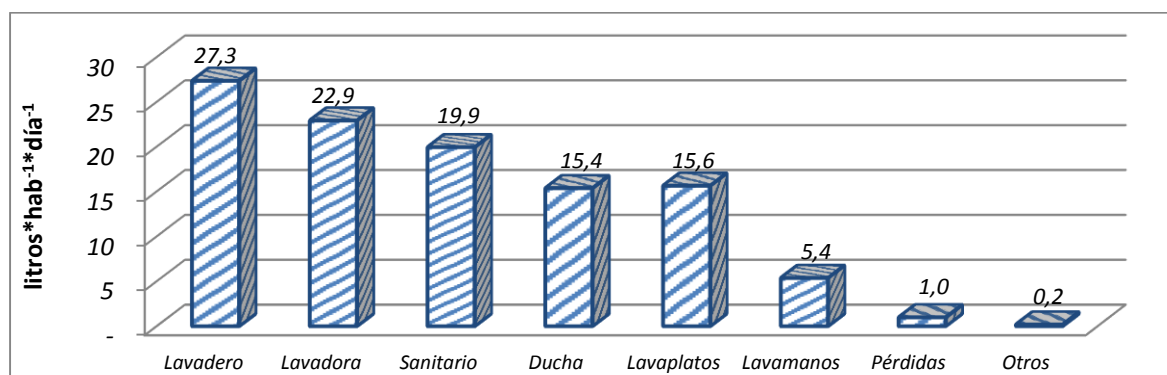


Figura 14. Dotación per-cápita por unidad hidrosanitaria estrato uno  
Fuente: elaboración propia, 2013

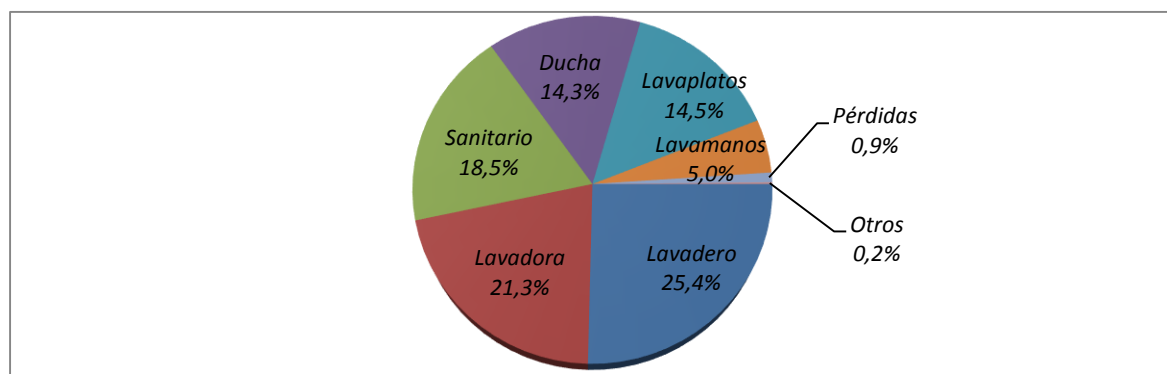


Figura 15. Distribución porcentual por unidad hidrosanitaria estrato uno  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Una vez identificada la dotación por unidad hidrosanitaria, se estableció el porcentaje para cada uso, encontrando que el 52,3% del agua se destina para actividades relacionadas con el aseo personal (37,8%) y con la preparación de alimentos (14,5%), el 47,7% restante lo componen el aseo del hogar (46,7%), pérdidas de agua (0,9%) y un 0,16% para otros usos (Figura 16), muy similar a lo encontrado por (Willis R. M., Stewart, Panuwatwanich, Williams, & Hollingsworth, 2011) y (Lee, Tansel, & Balbin, 2011).

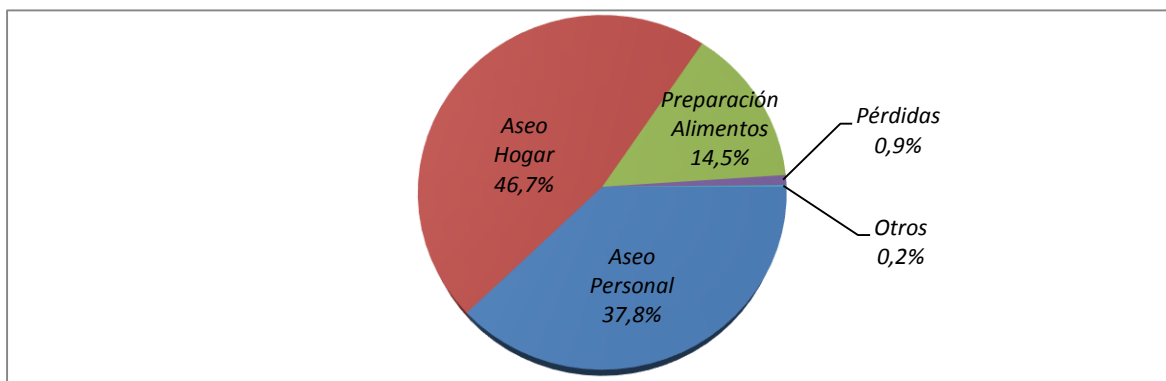


Figura 16. Distribución porcentual por usos de agua estrato uno  
Fuente: elaboración propia, 2013.

### 8.1.3. Tendencia del consumo de agua estrato dos

La Figura 17 muestra la tendencia del consumo de agua residencial ( $m^3 \cdot mes^{-1}$ ) durante el periodo 2004 - 2012, para la población y la muestra seleccionada del estrato dos. En esta figura se evidencia el comportamiento decreciente que ha experimentado el consumo promedio de agua residencial, con una tasa de decrecimiento mensual de  $-0,0542 m^3 \cdot mes^{-1}$  ( $-0,65 m^3 \cdot año^{-1}$ ).

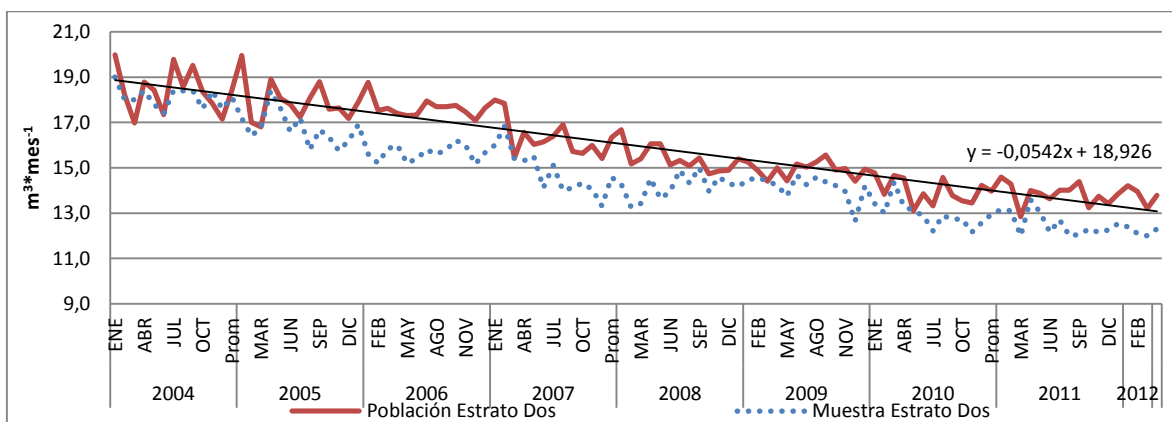


Figura 17. Tendencia del consumo de agua residencial estrato dos  
Fuente: elaboración propia, 2013; datos suministrados por Aguas y Aguas.

### 8.1.4. Patrón consumo de agua estrato dos

El patrón de consumo de agua de uso residencial para este estrato muestra que entre la 1 y las 4 horas se presenta un consumo constante de agua de  $1,0 l \cdot h^{-1}$ , por lo que estos consumos se han asociado a fugas de agua presentes en las unidades hidrosanitarias



de la vivienda. A partir de las 5 hasta las 9 horas el caudal crece desde los 7 l\*h<sup>-1</sup> hasta los 23 l\*h<sup>-1</sup>. A las 11 horas se presenta el primer pico de consumo cuyo valor máximo es de 43 l\*h<sup>-1</sup>. Entre las 14 y las 17 horas existe una caída del caudal (29 a 18 l\*h<sup>-1</sup> respectivamente). A partir de las 18 horas se inicia un segundo pico con un consumo de 29 l\*h<sup>-1</sup> (19 horas). Al finalizar el día, la curva de consumo decrece, pasando de 15 a 2,0 l\*h<sup>-1</sup>. El promedio de consumo de agua para este estrato es de 18,3 l\*h<sup>-1</sup> (Figura 18).

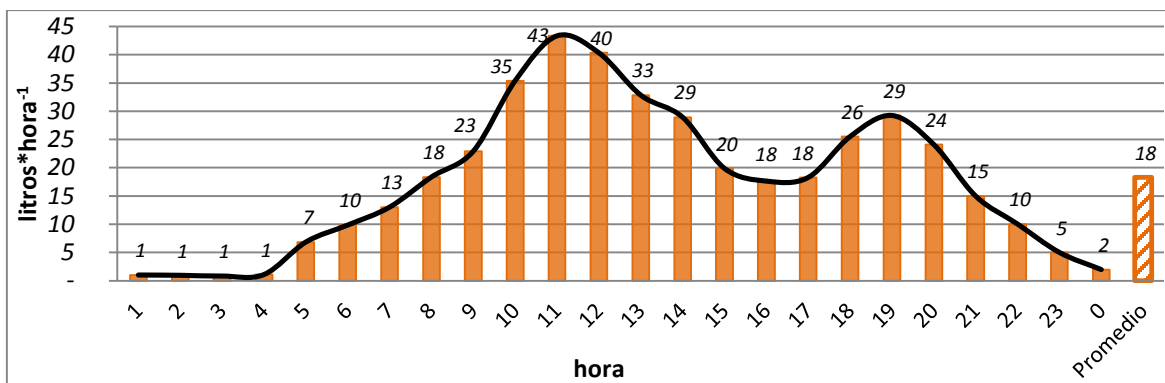


Figura 18. Patrón de consumo de agua potable estrato dos.

Fuente: elaboración propia, 2013.

La dotación de agua diaria promedio para el estrato dos es de 112 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, siendo el día martes el de mayor consumo con 125 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> y el día domingo el de menor, con 97 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> (Figura 19).

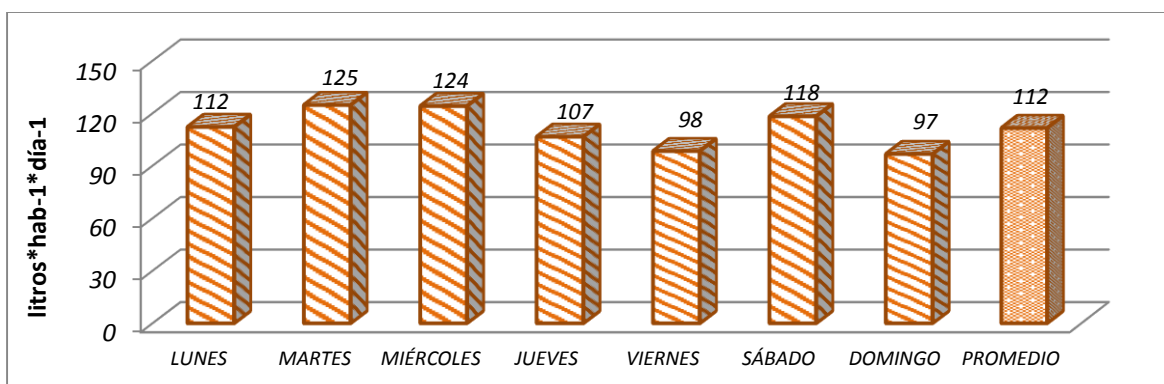


Figura 19. Dotación per-cápita diaria de agua estrato dos.

Fuente: elaboración propia, 2013.

Una vez determinada la dotación en 112 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> para el estrato dos, se encontró que el lavaplatos es la unidad hidrosanitaria de mayor demanda de agua en la vivienda (25,7 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>) y el que mayor porcentaje de consumo representa (23%), el lavamanos arrojó un valor de 6,5 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> siendo la menor dotación y cuya representación porcentual es de 5,9%, siendo igualmente la más baja (Figura 20). Se encontró que el 1,1% del agua que ingresa a la vivienda se pierde (1,2 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>) quizás por fugas físicas presentes en las unidades hidrosanitarias. A su vez el sanitario y la ducha representan el 15,1% y 13,6% (16,8 y 15,2 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>) respectivamente, el lavadero demanda el 21,4% (23,8 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>) del total de agua que ingresa (Figura 21).

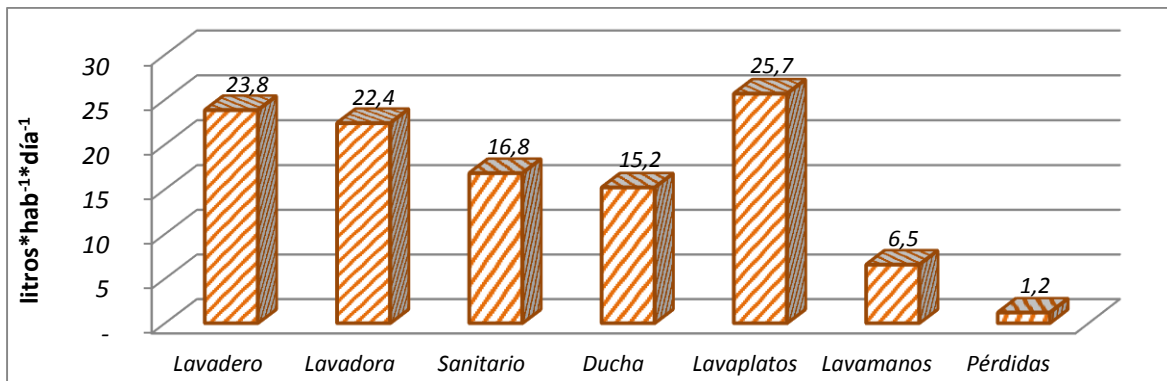


Figura 20. Dotación per-cápita por unidad hidrosanitaria estrato dos.  
Fuente: elaboración propia, 2013.

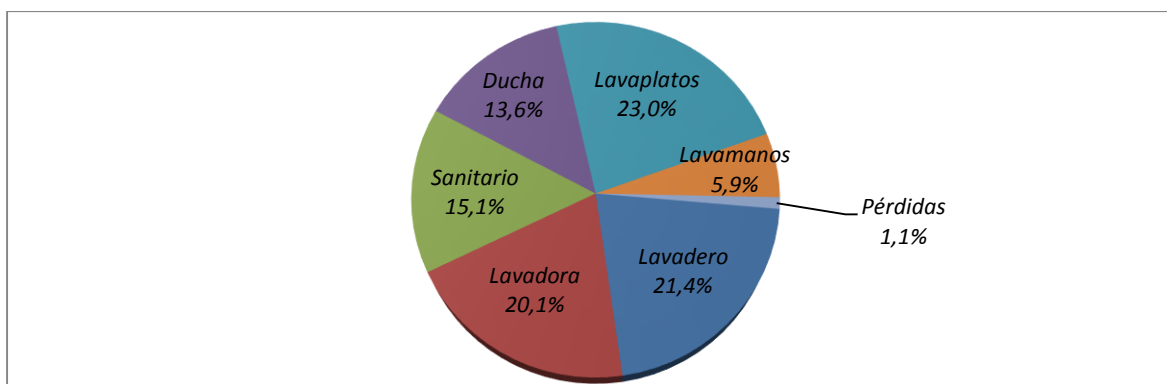


Figura 21. Distribución porcentual por unidad hidrosanitaria estrato dos.  
Fuente: elaboración propia, 2013.

Una vez identificada la demanda en las unidades hidrosanitarias, se estableció el porcentaje por usos, definido así: aseo del hogar (41,4%) y aseo personal (34,5%), lo que representa el 75,9% del total de agua que ingresa a la vivienda, en la preparación de alimentos se demanda el 23%, así mismo se identificó un 1,1% asociado a las pérdidas físicas de agua (Figura 22).

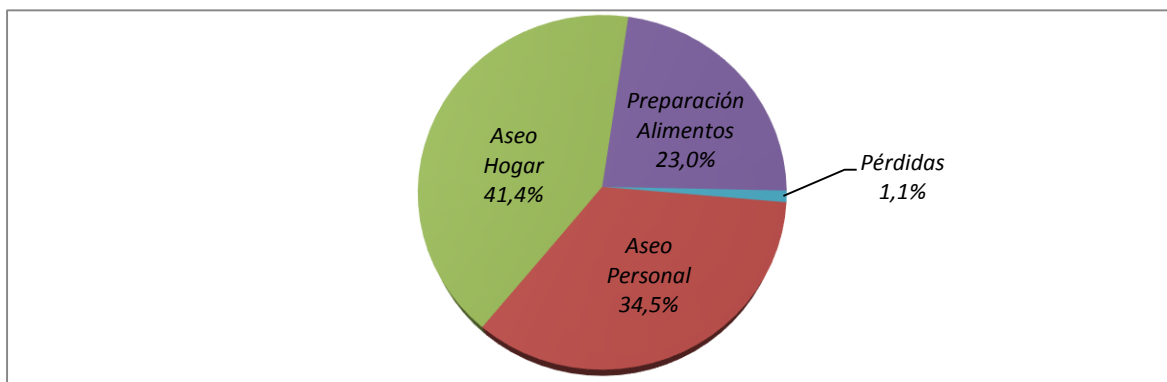


Figura 22. Distribución porcentual por usos de agua estrato dos.  
Fuente: elaboración propia, 2013.

### 8.1.5. Análisis descriptivo de la dotación per-cápita estrato uno y dos sin tecnología -ST.

Como se observa en la Tabla 15, del total de la muestra de viviendas (31), 11 pertenecen al estrato uno (E1) y 20 al estrato dos (E2), asumiendo como válidos el ciento por ciento de los datos.

Tabla 15. Resumen del procesamiento de casos según estrato sin tecnología

Estrato		Válidos		Perdidos
		N	Porcentaje	N
Dotación Promedio (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	E1	11	100,0%	0
	E2	20	100,0%	0

Fuente: elaboración propia, 2013

En los usuarios del estrato uno (E1), se encontró una dotación per-cápita de 107,82 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> para un nivel de confianza del 95% (Tabla 16), también se observó que el 50% de esta muestra presenta dotaciones per-cápita menores a 106,0 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, con una desviación de 50,1 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>. De igual forma para los usuarios muestreados en el estrato dos (E2) se halló una dotación per-cápita de 111,35 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, a un nivel de confianza del 95%, con una mediana de 115,0 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, indicando que el 50% de estos usuarios tienen una dotación menor a este valor (Figura 23). La desviación es de 18,4 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>.

Tabla 16. Estadísticos descriptivos dotación per-cápita estrato uno y dos sin tecnología

Variable: dotación per-cápita		Estrato Uno -E1	Estrato Dos -E2
		Estadístico (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	Estadístico (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )
Media		107,82	111,35
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	74,17	102,75
	Límite superior	141,47	119,95
Media recortada al 5%		104,52	112,00
Mediana		106,00	115,00
Varianza		2509,16	337,82
Desviación típica		50,09	18,38
Mínimo		56,00	71,00
Máximo		219,00	140,00
Rango		163,00	69,00
Amplitud intercuartil		74,00	23,75

Fuente: elaboración propia, 2013.

Con base a los resultados obtenidos para cada estrato es posible visualizar algunas diferencias en la dotación per cápita. De acuerdo con la

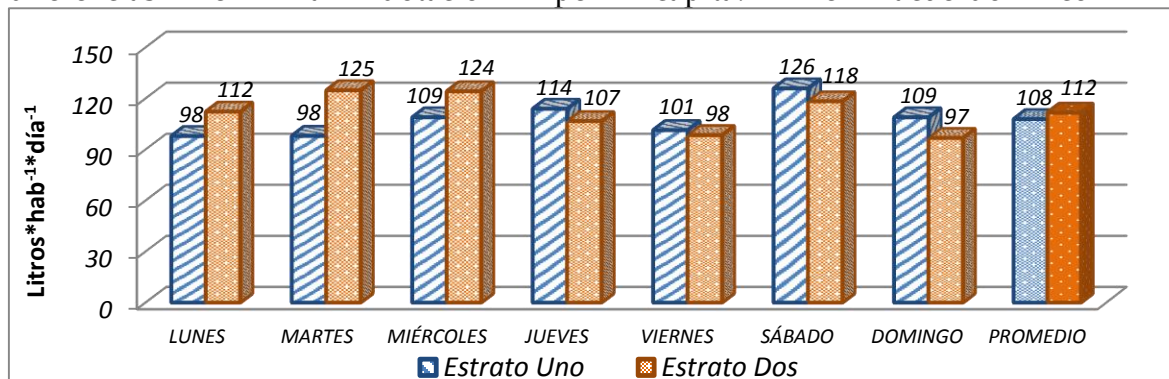


Figura 24, existe mayor dotación per cápita en el estrato dos frente al uno, existiendo en promedio una diferencia de  $4,0 \text{ l*hab}^{-1}\text{*día}^{-1}$ . Cabe anotar que la dotación per cápita del estrato dos desciende a medida que transcurre la semana mientras tanto el estrato uno asciende.

Una mirada alrededor de la dotación de agua con base al tipo de unidad hidrosanitaria entre ambos estratos, permite dar cuenta que existe mayor dotación en el estrato dos en el uso del lavaplatos, siendo este uso el de mayor demanda en este estrato, con  $10,1 \text{ l*hab}^{-1}\text{*día}^{-1}$  más, al compararlo con el resultado en el estrato uno (

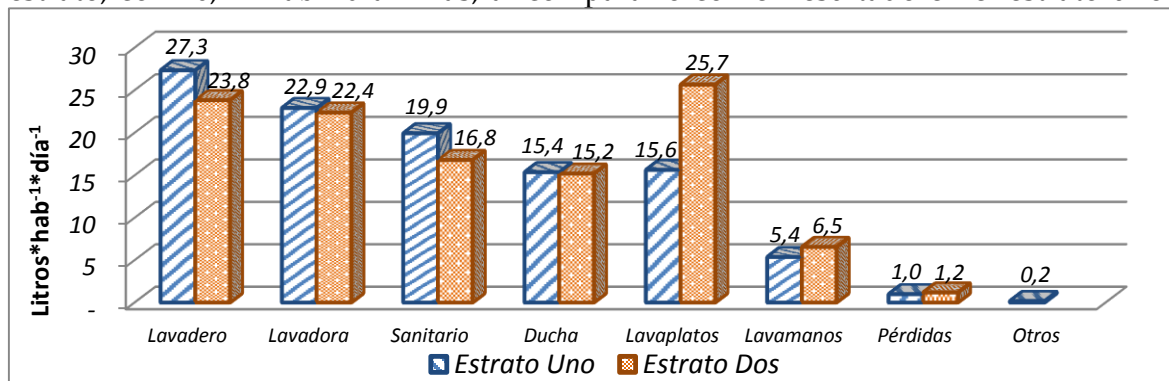


Figura 25), representando el 21,4%. El lavadero es el que mayor aporte tiene a la dotación total de la vivienda del estrato uno asumiendo  $27,3 \text{ l*hab}^{-1}\text{*día}^{-1}$ , representando un 25% del total. Otro aspecto importante que se encontró es la cantidad de agua registrada por pérdidas en la vivienda, que para el estrato uno asciende a  $1,0 \text{ l*hab}^{-1}\text{*día}^{-1}$  y en el estrato dos a  $1,2 \text{ l*hab}^{-1}\text{*día}^{-1}$ , representando 0,9% y 1,1% respectivamente sobre el total consumido para cada estrato.

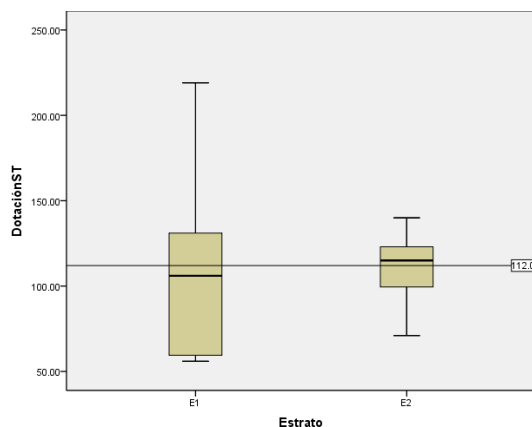


Figura 23. Dotación per-cápita estrato uno y dos sin tecnología  
Fuente: Elaboración propia, 2013

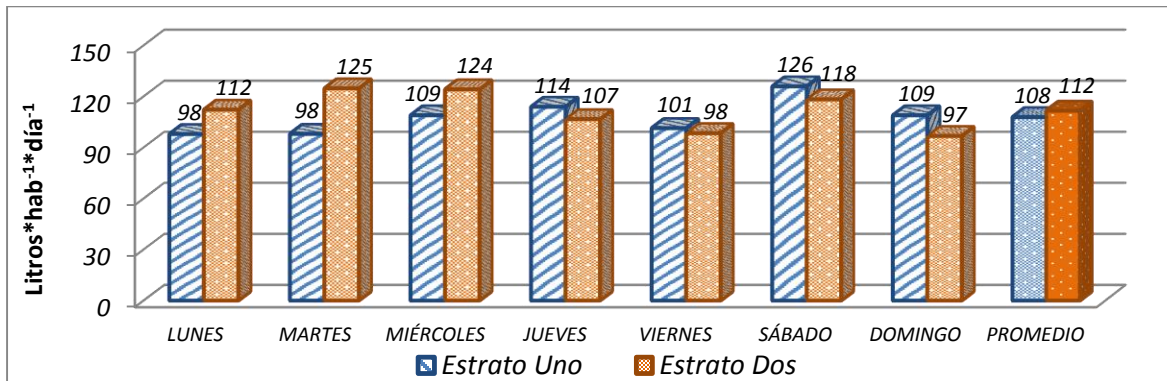


Figura 24. Dotación per-cápita diaria estratos uno y dos sin tecnología  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

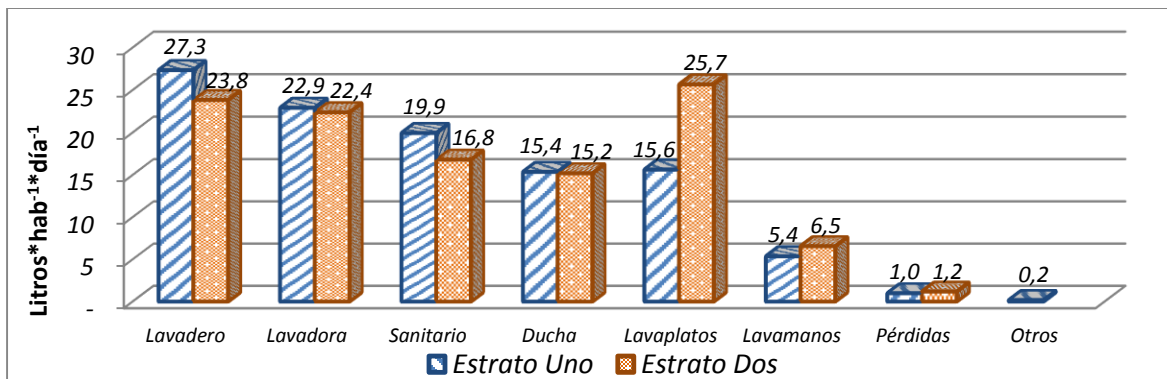


Figura 25. Dotación Per-cápita diaria por unidad hidrosanitaria estrato uno y dos sin tecnología  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

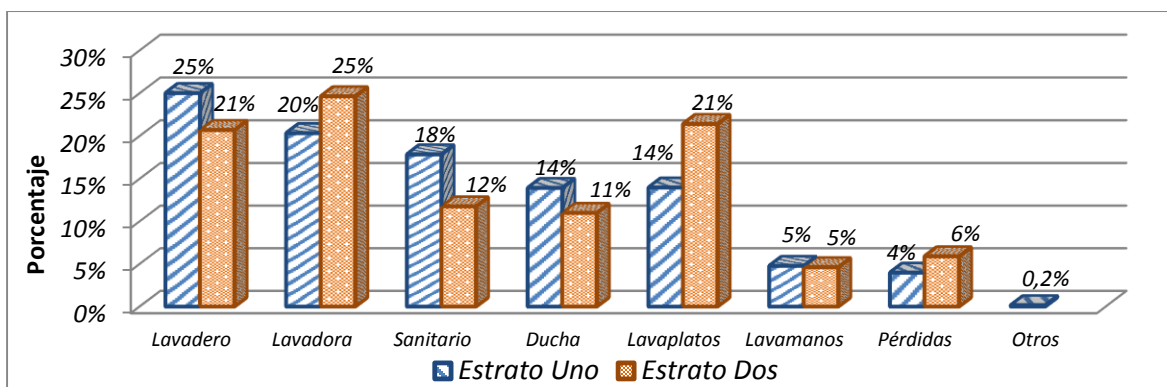


Figura 26. Porcentaje de la dotación total per-cápita diaria por unidad hidrosanitaria  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Respecto a los resultados anteriores, es preciso mencionar que los valores de consumo encontrados difieren a los reportados en otros estudios en diferentes países como Estados Unidos, Australia y Arabia Saudí, donde se evidenció que los mayores aportes al consumo de agua en una vivienda lo hacen las unidades hidrosanitarias como las baterías sanitarias, las lavadoras y las duchas, representando alrededor del 65% del consumo total (Lee, Tansel, & Balbin, 2011; Willis R. M., Stewart, Panuwatwanich, Williams, & Hollingsworth, 2011; Taleb & Sharples, 2011; Beal, Stewart, & Fielding, 2013). Por su parte para los estratos uno y dos de la ciudad de Pereira, se evidenció que el mayor aporte al consumo total de la vivienda lo hacen el lavadero, lavaplatos y lavadora, llegando a representar el 60% del consumo aproximadamente, mientras la ducha y las baterías sanitarias pueden llegar a consumir hasta un 35% del agua total de la vivienda, ocupando el quinto y cuarto lugar respectivamente. Adicionalmente el porcentaje de pérdidas encontrado para viviendas de estos estratos (0,9% - 1,2%) es similar frente al 1,0% de pérdidas que plantean algunos estudios (Willis R. M., Stewart, Panuwatwanich, Williams, & Hollingsworth, 2011; Willis R. M., Stewart, Giurco, Talebpour, & Mousavinejad, 2013), como también a los resultados encontrados por Carragher, Stewart, & Beal (2012).

En cuanto al patrón de consumo, como se mencionó anteriormente, existen fugas o daños que generan demanda de agua para ambos estratos, esto se evidencia en la Figura 27 con consumos diferentes a cero durante las primeras cuatro horas del día. Se aprecia que para los dos estratos existen dos picos de consumo de diferente intensidad. En el primer pico de consumo el estrato uno es superior al estrato dos por  $1,0 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ , ( $44$  y  $43 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$  respectivamente), encontrándose éste entre la franja horaria de las 9:00 hasta las 13:00 horas. El segundo pico para ambos estratos inicia a partir de las 19:00 horas y se extiende por un periodo de tres horas. La diferencia entre el consumo máximo encontrado en éste segundo pico es de  $11,0 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$  para el estrato dos.

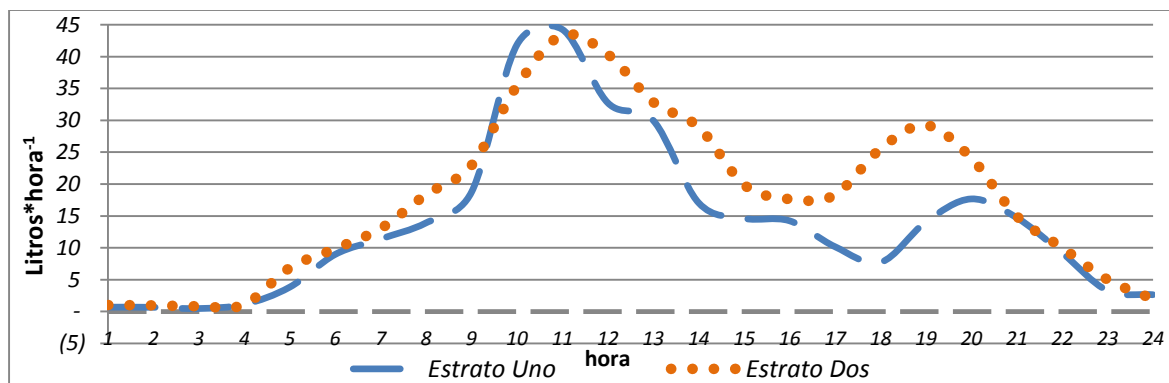


Figura 27. Patrón de consumo estratos uno y dos sin tecnología  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

En la Figura 28 se observa el patrón de consumo para una vivienda de estrato uno, en ella se detalla que el uso de la lavadora es mayor entre las 9 y las 12 horas, seguida de un segundo uso entre las 15 y las 17 horas y uno tercero entre las 20 y las 21 horas, respecto al lavadero se observan dos picos, el primero de las 9 a las 13 horas y el segundo de las 21 a las 22 horas, estos picos de consumo para la lavadora y el lavadero



pueden deberse a que en estas se desarrollan actividades durante cualquier hora del día. Para el lavaplatos se tienen dos picos, uno muy marcado entre las 9 y las 12 horas, tiempo en el cual se preparan los alimentos, y un segundo pico entre las 20 y las 22 horas. Respecto a la ducha se tienen dos picos, uno entre 6 y las 7 horas y otro entre las 10 y las 12 horas, estos dos picos en el uso de la ducha puede indicar dos tipos de usuarios, los que deben iniciar una labor en horas de la mañana y otro que permanece en la vivienda y utilizan la ducha más tarde (Beal, Stewart, & Fielding, 2013). En cuanto al uso del sanitario se evidencia un consumo constante que inicia a las 5 horas y finaliza a las 23 horas, esto mismo sucede con el lavamanos, asumiendo el uso conjunto de estas dos unidades hidrosanitarias. El uso de agua denominado “otros” se refiere a unidades hidrosanitarias destinadas para uso comercial.

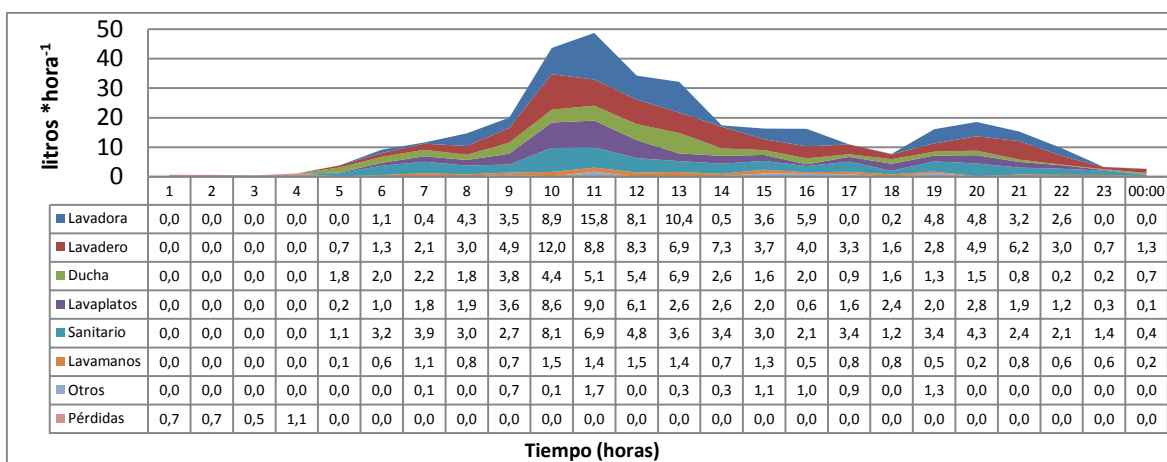


Figura 28. Patrón de consumo por unidad hidrosanitaria estrato uno sin tecnología  
Fuente: elaboración propia, 2013.

En el estrato dos existen dos picos de consumo para la vivienda. El uso de las diferentes unidades hidrosanitarias a su vez forma este mismo patrón de consumo, similar a lo encontrado en el estrato uno, los cuales varían en intensidad (Figura 29). Según se observa en esta figura, el uso de las unidades empieza desde muy temprano (5 horas) y se extiende hasta el mediodía (13 horas) formando un primer pico. El segundo inicia a las 18 horas y se extiende hasta las 21 horas, en algunos casos como el lavadero, lavaplatos y sanitario se extiende hasta las 23 horas.

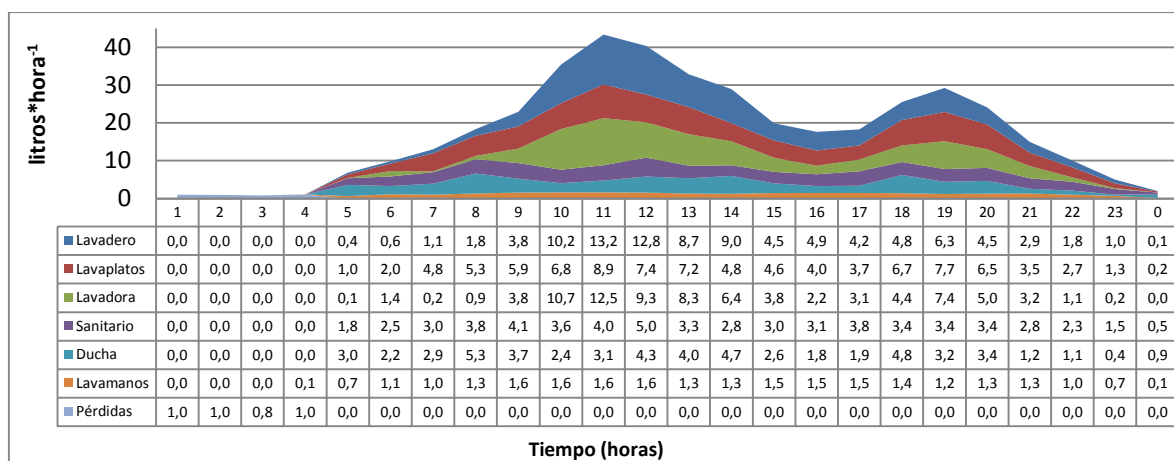


Figura 29. Patrón de consumo por unidad hidrosanitaria estrato dos sin tecnología.  
Fuente: elaboración propia, 2013.

A fin de comprobar estadísticamente las diferencias encontradas sobre la variable *dotación per-cápita* ( $l^{*}hab^{-1}*día^{-1}$ ) en los usuarios del estrato uno y dos, y dado que los datos de las muestras de estos proceden de poblaciones con distribución normal (Tabla 17), se realizó el análisis de varianza univariante (prueba paramétrica) para muestras independientes (estrato), con el fin de evaluar el efecto del estrato sobre la variable anteriormente mencionada.

En la Tabla 17, se muestran los resultados de la prueba de normalidad para la variable *dotación per-cápita* ( $l^{*}hab^{-1}*día^{-1}$ ), en el factor “estrato”. La hipótesis nula ( $H_0$ ) a contrastar es que los datos de la muestra proceden de poblaciones normales. De acuerdo con esto, se realizó la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* (tamaño de muestra mayor que 50) y *Shapiro-Wilk* (tamaño de muestra igual o menor que 50), donde se evidencia que para el estrato uno -E1 y estrato dos -E2 se acepta la hipótesis nula de normalidad con una significancia igual a 0,114 y 0,682 respectivamente. Así, se establece que los datos de la muestra de los dos estratos sin el uso de tecnologías ahorradoras, proceden de poblaciones con distribución normal, por lo que el método más adecuado para el análisis de varianza (Anova) es una “prueba Paramétrica”, es decir para poblaciones que cumplen con el supuesto de normalidad.

Tabla 17. Pruebas de normalidad estratos uno y dos sin tecnología

Factor: estrato		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Dotación Per-cápita ( $l^{*}hab^{-1}*día^{-1}$ )	E1	0,189	11	0,200*	0,883	11	0,114
	E2	0,141	20	0,200*	0,967	20	0,682

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia, 2013

En la Tabla 18 se presenta los resultados de la Anova en la que se evidencia que no existen diferencias significativas en los dos estratos, para la *dotación per-cápita* con una significancia igual a 0,777.

Tabla 18. Anova Univariante para muestras independientes sin tecnología

Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
----------------	------	------	----------



La distribución de la <i>Dotación per-cápita</i> ( $l \cdot hab^{-1} \cdot día^{-1}$ ) es la misma entre las categorías del <i>estrato</i> .	Prueba <i>análisis de varianza univariante</i> de muestras independientes			0,777	Aceptar la hipótesis nula.
Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05.					
<i>Variable dependiente: Dotación per-cápita (<math>l \cdot hab^{-1} \cdot día^{-1}</math>)</i>					
<i>Origen</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
Modelo corregido	88,523 <sup>a</sup>	1	88,523	0,081	0,777
Intersección	340891,362	1	340891,362	313,735	0.000
Estrato	88,523	1	88,523	0,081	0,777
Error	31510,186	29	1086,558		
Total	407359,000	31			
Total corregida	31598,710	30			
a. R cuadrado = 0,003 (R cuadrado corregida = -0,032)					
<i>Fuente: elaboración propia, 2013.</i>					

Fuente: elaboración propia, 2013.

En la Tabla 19 se relaciona el cuadro de medias y medianas para los estratos evaluados, la cual revela una diferencia de  $3,5 l \cdot hab^{-1} \cdot día^{-1}$  en la media y de  $9,0 l \cdot hab^{-1} \cdot día^{-1}$  en la mediana, lo que demuestra que existe mayor *dotación per-cápita* en los usuarios residenciales del estrato dos comparado con el estrato uno. En cuanto al *consumo residencial* existe una diferencia de  $1,05 m^3 \cdot mes^{-1}$  en la media y de  $1,66 m^3 \cdot mes^{-1}$  en la mediana. Sin embargo estas diferencias estadísticas no son significativas entre los dos estratos residenciales.

Tabla 19. Estadísticos de la dotación per-cápita sin tecnología

<i>Estrato</i>	<i>Media</i>		<i>Mediana</i>	
	<i>Dotación (<math>l \cdot hab^{-1} \cdot día^{-1}</math>)</i>	<i>Consumo (<math>m^3 \cdot mes^{-1}</math>)</i>	<i>Dotación (<math>l \cdot hab^{-1} \cdot día^{-1}</math>)</i>	<i>Consumo (<math>m^3 \cdot mes^{-1}</math>)</i>
E1	107,82	11,64	106,00	11,45
E2	111,35	12,69	115,00	13,11
Total	110,10	-	112,00	-

Fuente: elaboración propia, 2013

## 8.1.6. Escenarios de consumo de agua con tecnologías –CT ahorradoras

### 8.1.6.1. Reparación de fugas e instalación de tecnologías ahorradoras

Se repararon las fugas físicas de agua de los usuarios seleccionados en la muestra, esto es, goteos por mal estado de los grifos en las unidades hidrosanitarias como el lavadero, lavaplatos, lavamanos, duchas y se corrigieron fugas en el tanque del inodoro debido al desgaste que presentaba la válvula de sellado “*agua stop*”. Lo anterior obedece a que todo escenario sobre uso eficiente y ahorro de agua debe ir acompañado como primera actividad de una reparación de fugas físicas de agua. Adicional a esto se hizo la instalación de dispositivos ahorradores en duchas, grifos de lavamanos y lavaplatos e inodoro (Figura 30) y se encontraron los siguientes resultados.



Figura 30. Instalación de dispositivos ahorradores en unidades hidrosanitarias  
Fuente: Fotografía Manco D., 2012

#### 8.1.6.2. Patrón consumo de agua estrato uno con tecnologías -CT ahorradoras

Al realizar la instalación de los dispositivos tecnológicos e iniciar nuevamente la medición durante una semana, se encontró que el patrón de consumo de agua para el estrato uno no presentó variaciones en los picos horarios respecto al patrón de consumo identificado anteriormente (*Sin Tecnología*), lo que ratifica que existen dos picos de consumo para este estrato, uno identificado en horas de la mañana a partir de las 9 horas y el segundo en la jornada de la noche a partir de las 19 horas. Con el uso de tecnología ahorradora en la vivienda, se encontraron diferencias en los caudales de consumo, llegando a reducir el promedio a 13 l\*h<sup>-1</sup>, es decir, un litro menos por hora frente a la medición anterior (Figura 31).

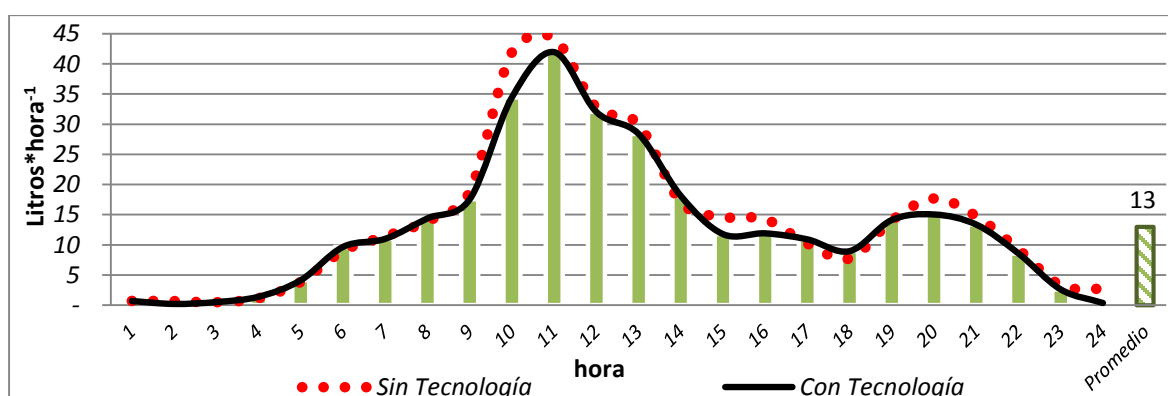


Figura 31. Patrón consumo de agua potable estrato uno con tecnología.  
Fuente: elaboración propia, 2013.

La dotación per-cápita de agua para el estrato uno con dispositivos ahorradores es de 98 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, siendo el día sábado el de mayor dotación con 114 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> y el día lunes el menor con 87 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> (Figura 32).

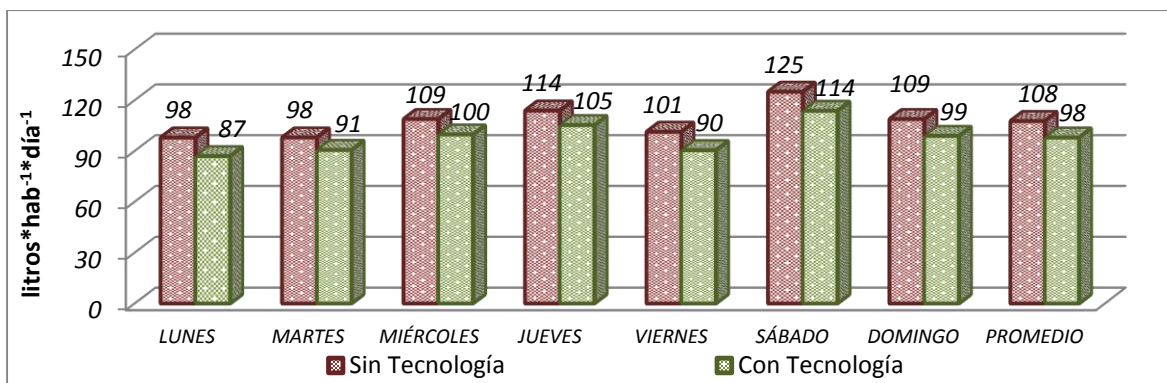


Figura 32. Dotación per-cápita diaria de agua estrato uno con tecnología.

Fuente: elaboración propia, 2013.

Una vez determinada la dotación per-cápita en 98 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> para el estrato uno, con tecnología ahorradora se encontró nuevamente que el lavadero es la unidad hidrosanitaria de mayor demanda de agua en la vivienda con 25,9 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> (26,4%) y el lavamanos el menor con 4,3 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> (4,4%). Se evidenció que persistían las pérdidas de agua con un valor de 0,8 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> (0,9%) como se muestra en la Figura 33 y Figura 34.

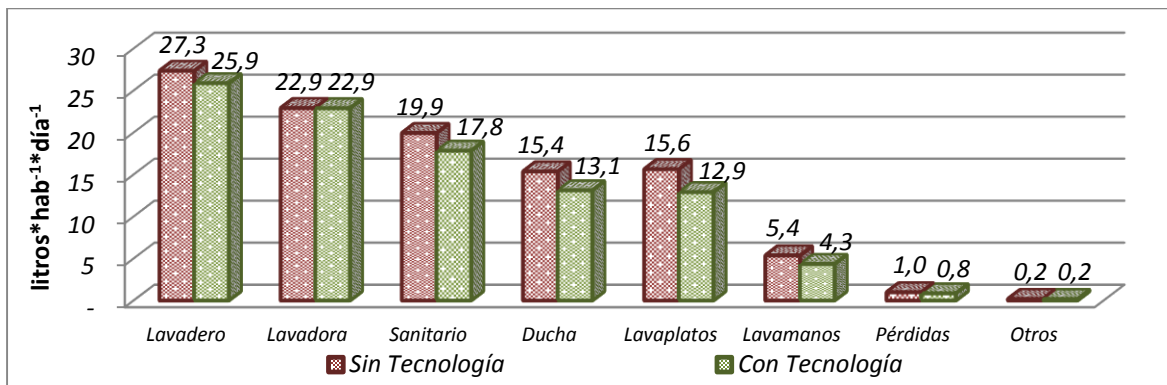


Figura 33. Dotación per-cápita por unidad hidrosanitaria estrato uno con tecnología.

Fuente: elaboración propia, 2013.

En la Figura 35, se muestra la nueva distribución porcentual por usos, definida así: aseo personal (36,0%) y preparación de alimentos (13,2%), estos usos representan el 49,2% del total de agua que ingresa a la vivienda. El aseo del hogar demanda el 49,8%; el 0,2% se destina para otros usos. Así mismo se identificó un 0,9% que se asocia a las pérdidas de agua.

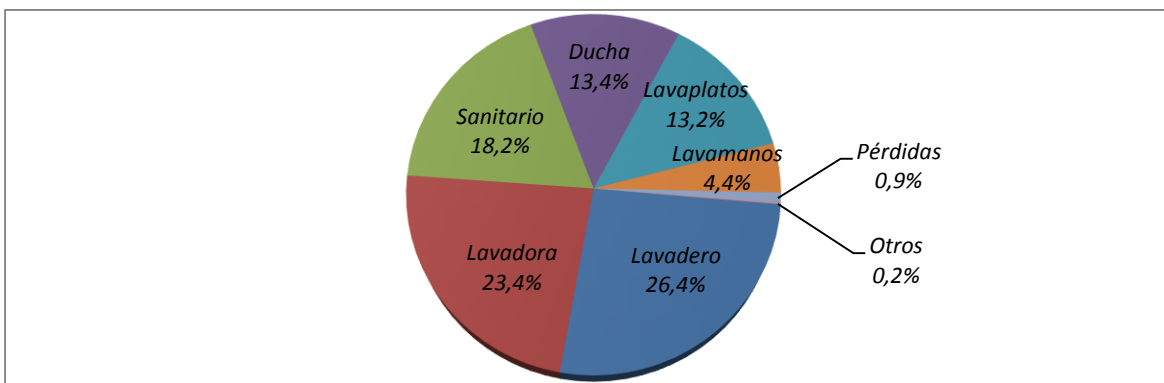


Figura 34. Distribución porcentual por unidad hidrosanitaria estrato uno con tecnología.  
Fuente: elaboración propia, 2013.

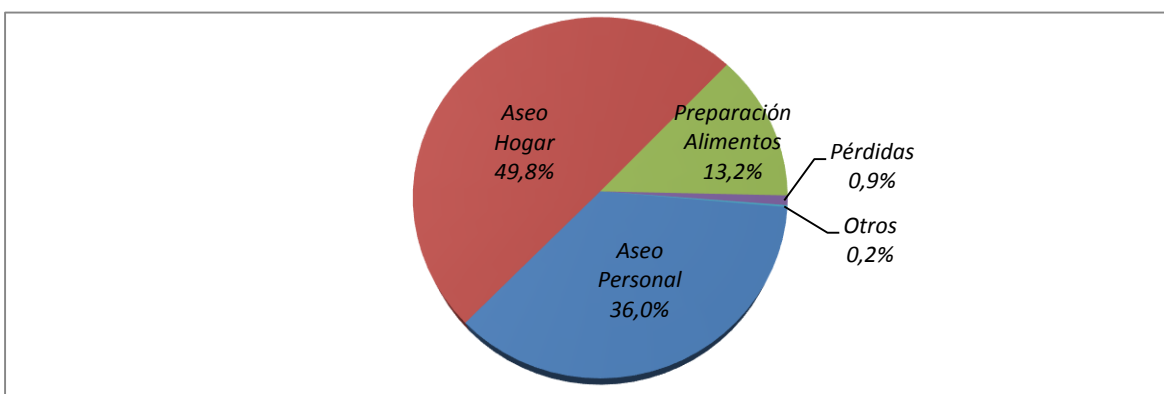


Figura 35. Distribución porcentual por usos de agua estrato uno con tecnología.  
Fuente: elaboración propia, 2013.

### 8.1.6.3. Patrón consumo de agua estrato dos con tecnologías –CT ahorradoras.

Con la instalación de la tecnología ahorradora se encontró que el promedio de consumo de agua para este estrato es de  $14 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$  (Figura 36), lo que muestra una diferencia de  $4,0 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$  respecto al patrón de consumo de la Figura 18 (*Sin Tecnología*). El patrón de consumo de agua no presentó cambios en sus picos de consumo, esto evidencia que la variable *consumo de agua* ( $\text{litros} \cdot \text{hora}^{-1}$ ) sigue el mismo patrón, ratificando así la existencia de dos picos de consumo para este estrato, el primero identificado en horas de la mañana a partir de las 10 horas y el segundo en la jornada de la noche a partir de las 19 horas.

Bajo la implementación de tecnologías ahorradoras, la *dotación per-cápita* diaria de agua en el estrato dos logró una disminución de  $23 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ . El día miércoles presentó la mayor dotación ( $105 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ), mientras que el día domingo presentó la menor ( $74 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ), estableciendo un nuevo promedio de dotación en  $90 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$  (Figura 37).

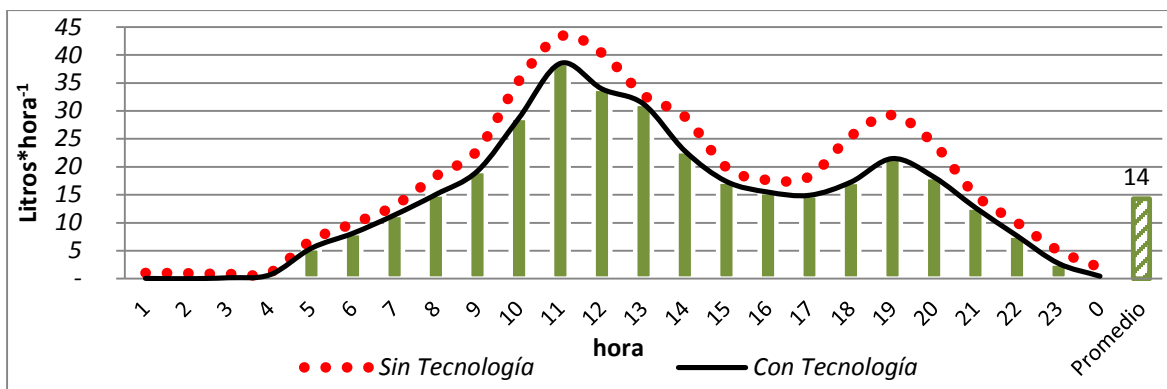


Figura 36. Patrón de consumo de agua potable estrato dos con tecnología.

Fuente: elaboración propia, 2013.

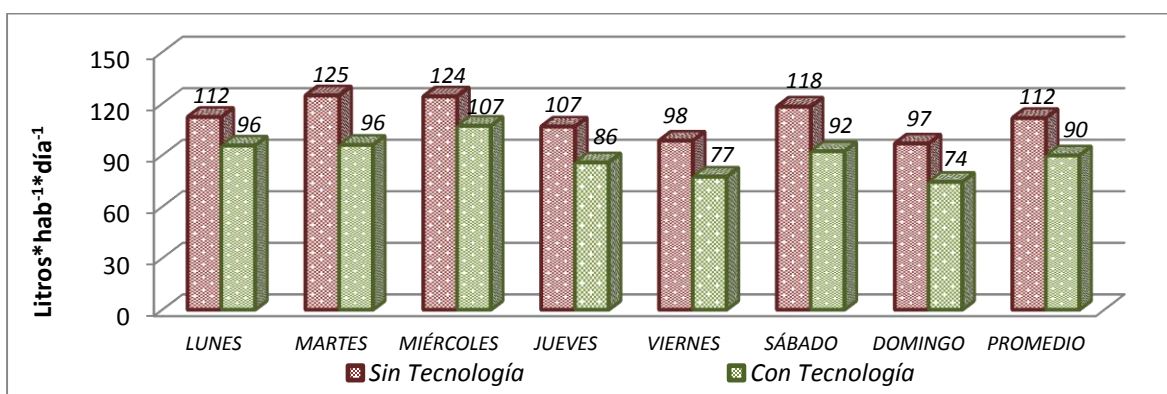


Figura 37. Dotación per-cápita diaria de agua estrato dos con tecnología.

Fuente: elaboración propia, 2013.

Con el uso de tecnologías ahorradoras (Figura 38) se muestra que la lavadora es la unidad hidrosanitaria de mayor demanda de agua en la vivienda con un valor de 22,1 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> (24,8%) y el lavamanos de 4,3 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, siendo la unidad de menor demanda y menor aporte al consumo total de la vivienda (4,9%). Se encontró que el lavaplatos presentó una demanda que supera en 7,7 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> aproximadamente al sanitario y a la ducha. En cuanto a las pérdidas de aguas, estas se redujeron de 1,2 a 0,3 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> y una diferencia en la distribución porcentual del 0,6% (Figura 39).

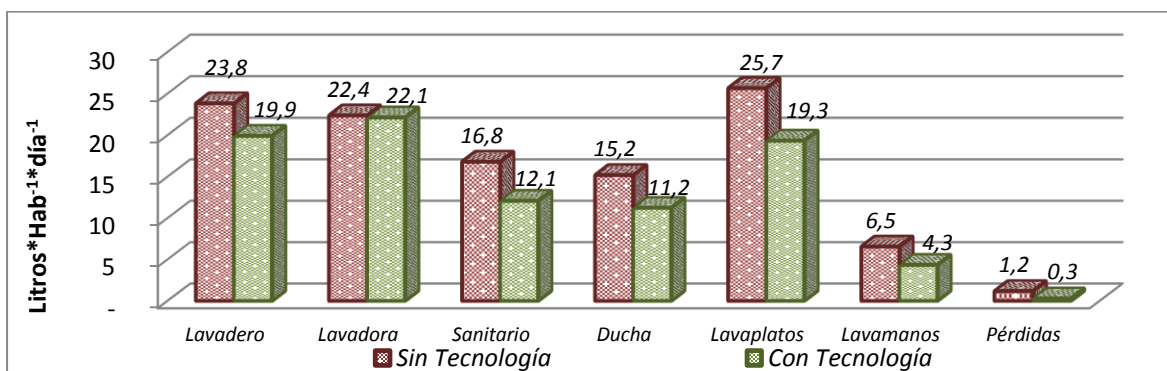


Figura 38. Dotación per-cápita por unidad hidrosanitaria estrato dos con tecnología.

Fuente: elaboración propia, 2013.

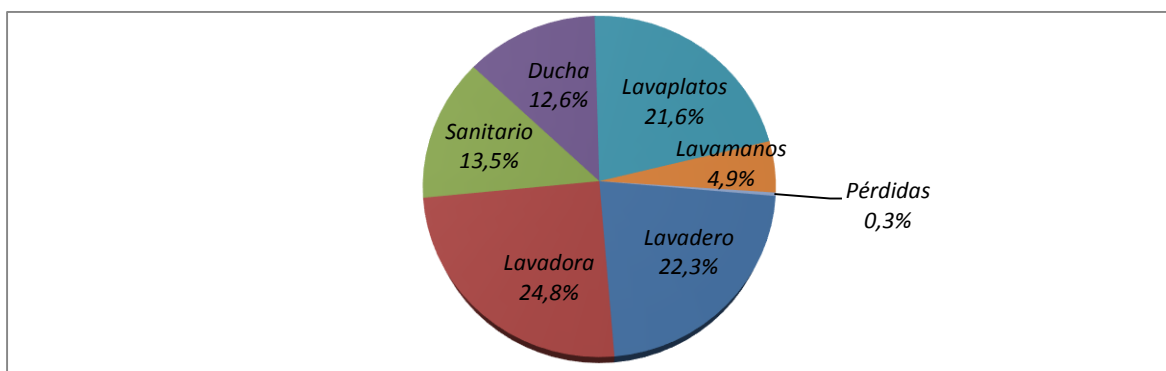


Figura 39. Distribución porcentual por unidad hidrosanitaria estrato dos con tecnología.  
Fuente: elaboración propia, 2013.

El 52,6% del total de agua que ingresa a la vivienda es destinada para el aseo personal y la preparación de alimentos (31,0% y 21,6% respectivamente). El aseo del hogar demanda el 47,1%. El 0,3% restante es registrado como pérdidas físicas de agua (Figura 40).

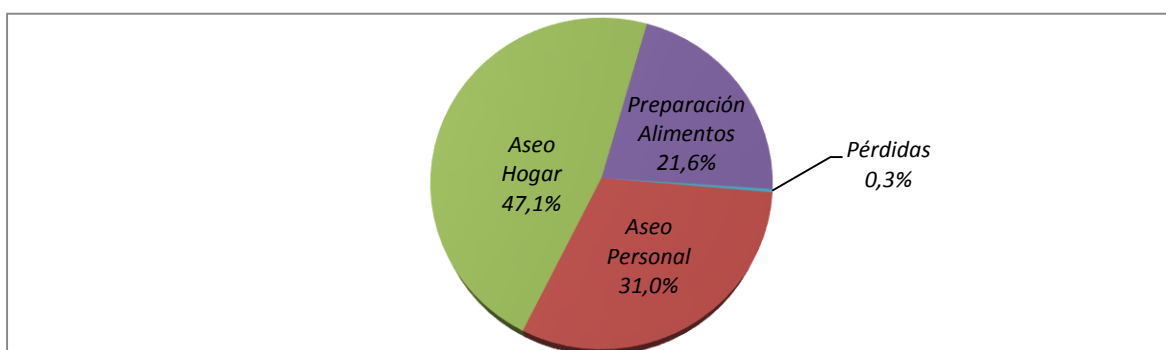


Figura 40. Distribución porcentual por usos de agua estrato dos con tecnología.  
Fuente: elaboración propia, 2013.

#### 8.1.6.4. Análisis descriptivo de la dotación per-cápita estrato uno y dos con tecnología - CT.

A continuación se presenta el análisis descriptivo de la *dotación per-cápita* de agua en los estratos uno y dos con relación a la reparación de fugas en las unidades hidrosanitarias en la vivienda y la instalación de tecnologías ahorradoras.

En los usuarios del estrato uno -E1, se encontró una *dotación* de 98,0 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> para un nivel de confianza del 95% (Tabla 20), también se observó que el 50% de esta muestra presenta *dotaciones per-cápita* menores a 92,0 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, con una desviación de 44,81 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>. En el estrato dos -E2 se halló una *dotación* per-cápita de 89,65 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, a un nivel de confianza del 95%, con una mediana de 93,50 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, indicando que el 50% de estos usuarios tienen una *dotación* menor a este valor (Figura 41). La desviación es de 20,42 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>.



Tabla 20. Estadísticos descriptivos dotación per-cápita estrato uno y dos con tecnología.

Variable: dotación per-cápita		Estrato Uno (E1)	Estrato Dos (E2)
		Estadístico (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	Estadístico (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )
Media		98,00	89,65
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	67,90	80,09
	Límite superior	128,10	99,21
Media recortada al 5%		95,67	89,94
Mediana		92,00	93,50
Varianza		2008,00	417,08
Desviación típica		44,81	20,42
Mínimo		47,00	53,00
Máximo		191,00	121,00
Rango		144,00	68,00
Amplitud intercuartil		68,00	37,00
Asimetría		0,807	-0,256
Curtosis		0,537	-1,221

Fuente: elaboración propia, 2013.

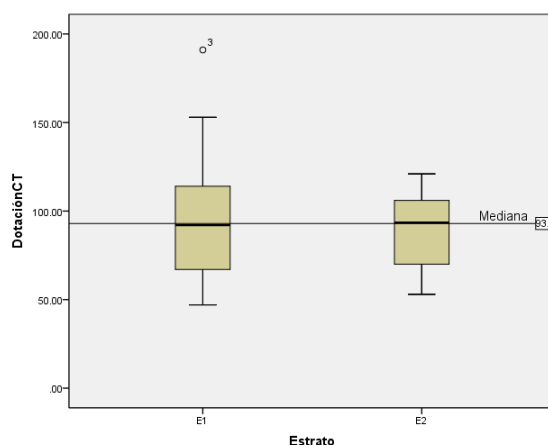


Figura 41. Dotación per-cápita estrato uno y dos con tecnología  
Fuente: elaboración propia, 2013

Se observa que los usuarios del estrato uno reportan mediante estadísticos descriptivos, una *dotación per-cápita* promedio mayor a los usuarios del estrato dos en 9,0 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, sin embargo cabe anotar que la dotación per-cápita del estrato dos descende a medida que transcurre la semana mientras tanto el estrato uno asciende (Figura 42).

Al comparar la dotación de agua con base al tipo de unidad hidrosanitaria entre los dos estratos (Figura 43) se encontró que existe mayor dotación en el estrato dos en el lavaplatos, siendo este uso el de mayor demanda en este estrato, con 6,4 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> más respecto al estrato uno. En el lavadero la diferencia entre dotaciones es de 6,0 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> a favor del estrato uno, siendo este el que mayor aporte tiene a la dotación total de la vivienda (25,9 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>). Se encontró que las pérdidas de agua son mayores en el estrato uno (0,8 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>) comparado con el estrato dos (0,3 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>).

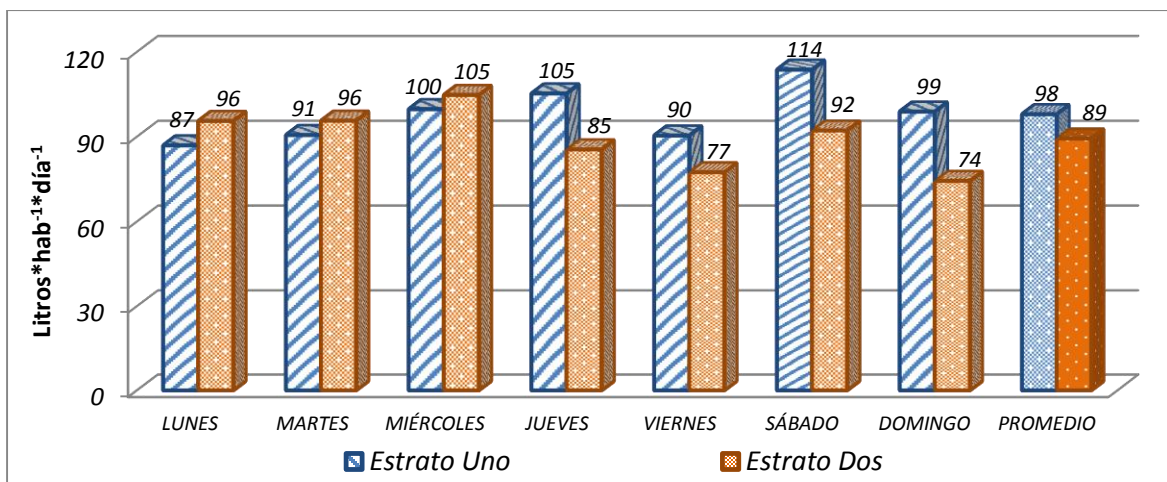


Figura 42. Dotación per-cápita diaria estratos uno y dos con tecnología  
Fuente: elaboración propia, 2013.

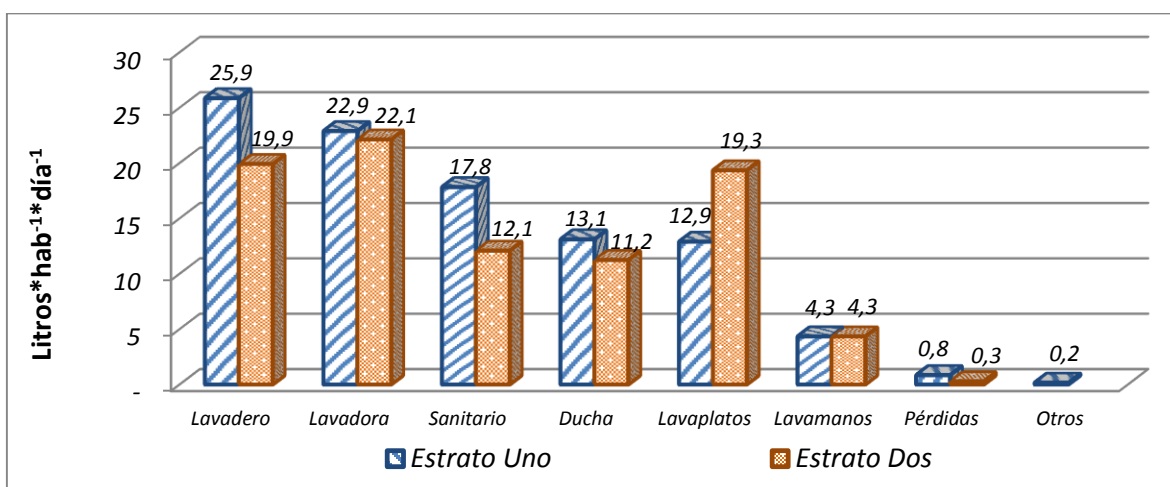


Figura 43. Dotación Per-cápita diaria por unidad hidrosanitaria estrato uno y dos con tecnología  
Fuente: elaboración propia, 2013.

De acuerdo con la Figura 44 se puede observar que en el primer pico de consumo es más alto el estrato uno ( $42 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ ), mientras en el estrato dos es de  $38 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ . Esta misma figura muestra que en el estrato uno existen dos picos de consumo de diferente intensidad, el primero se encuentra entre las 10 y la 11 horas, el segundo entre las 19 y 21 horas, por su parte el estrato dos también se comparte esta característica (dos picos de consumo), el primero entre las 10 a las 12 horas y el segundo entre las 18 a las 20 horas. Lo anterior permite ratificar lo encontrado en los estratos uno y dos sin el uso de tecnologías ahorradoras donde se evidencian los mismos patrones de consumo.



En la

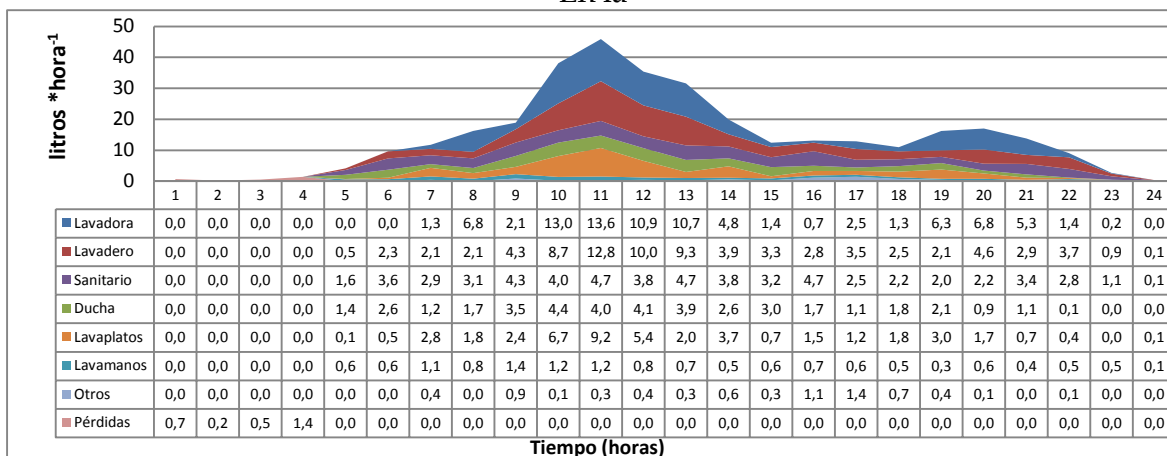


Figura 45 Figura 45 se observan los patrones de consumo por unidad hidrosanitaria en el estrato uno, detallando de forma genérica que no presenta cambios en los patrones de consumo definidos anteriormente para este estrato sin el uso de tecnología.

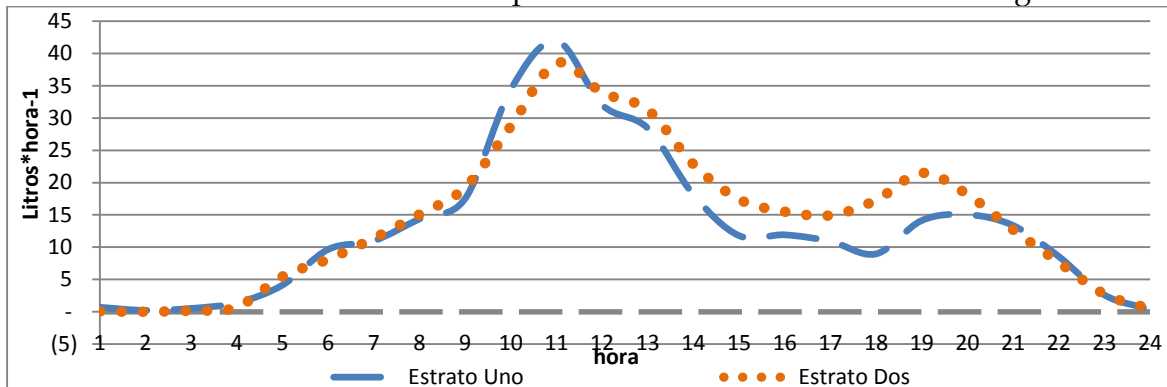


Figura 44. Patrón de consumo estratos uno y dos con tecnología  
Fuente: elaboración propia, 2013

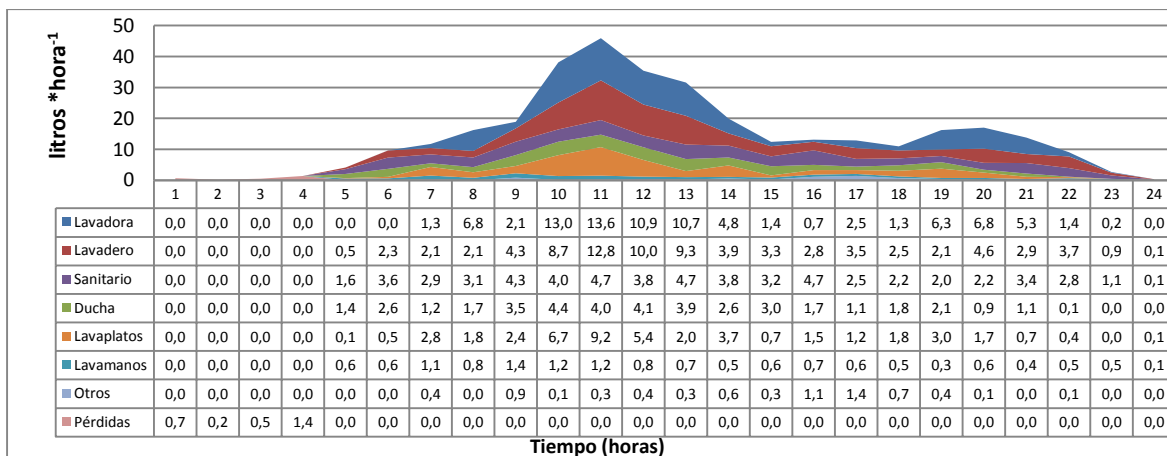


Figura 45. Patrón consumo por unidad hidrosanitaria estrato uno con tecnología  
Fuente: elaboración propia, 2013.

Según se observa en la Figura 46

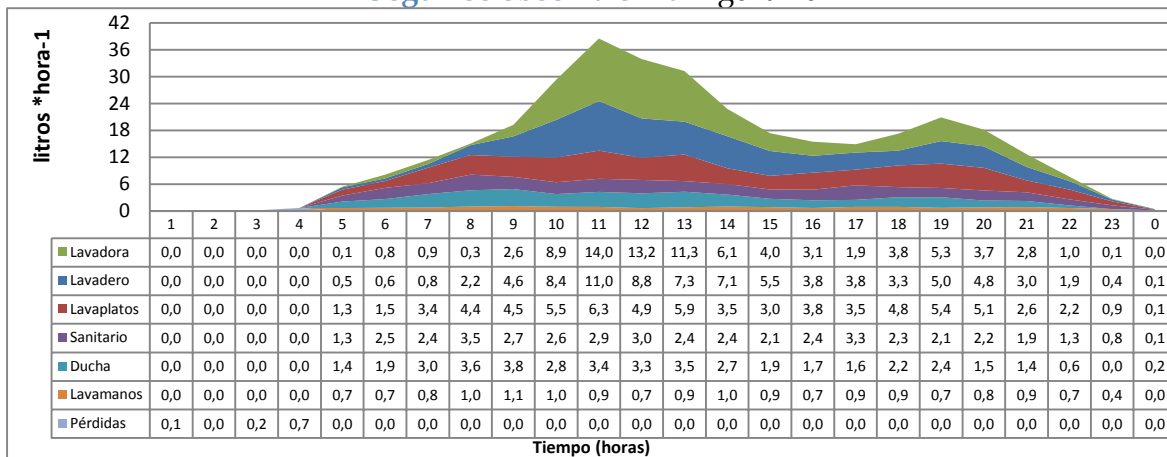


Figura 46, el uso de las unidades empieza desde muy temprano (5 horas) y se extiende hasta las 11 horas, a lo que llamamos un primer pico. El segundo se inicia a las 18 horas y se extiende hasta las 20 horas, en algunos casos como el lavadero, lavaplatos y sanitario se extiende hasta las 23 horas.

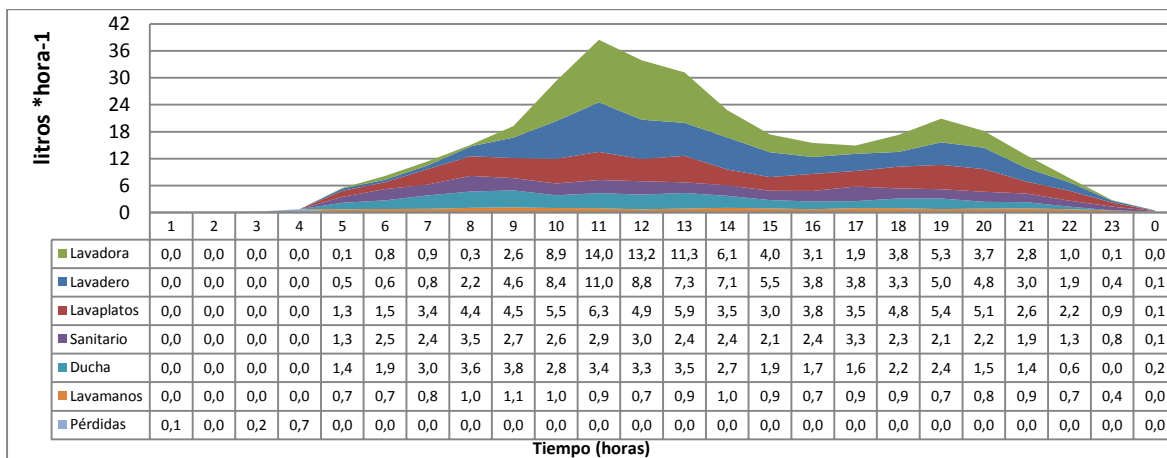
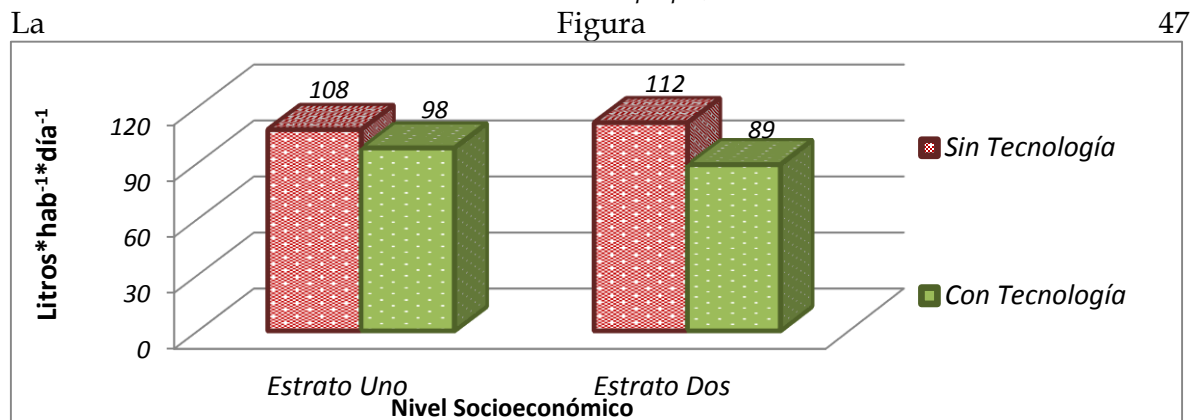


Figura 46. Patrón consumo por unidad hidrosanitaria estrato dos con tecnología  
Fuente: elaboración propia, 2013.



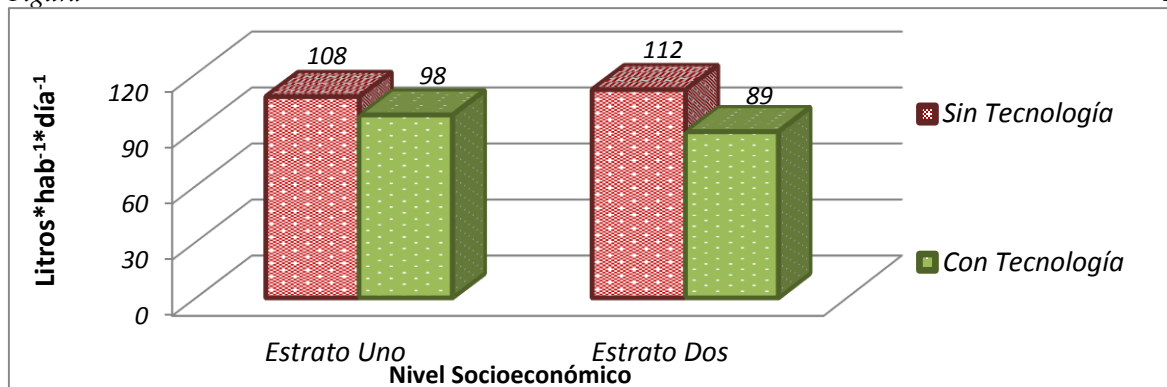


Figura 47 muestra las diferencias descriptivas en la *dotación de agua* entre el estrato uno y dos con el uso de dispositivos ahorradores en las unidades hidrosanitarias. En el estrato uno se obtuvo una diferencia de 10 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, esto representa una disminución de un metro cúbico por usuario al mes (1 m<sup>3</sup>\*mes<sup>-1</sup>), mientras que para el estrato dos esta diferencia fue de 23 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>, así, se estableció que el estrato dos logró mayor diferencia cuando se usan tecnologías ahorradoras en la vivienda, logrando obtener una disminución mensual de 3 m<sup>3</sup>\*mes<sup>-1</sup> por usuario.

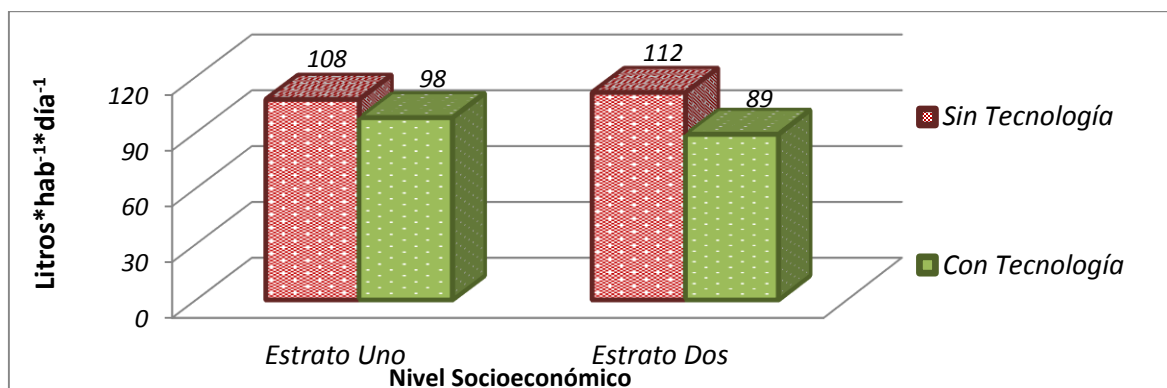


Figura 47. Diferencias en el uso de tecnologías ahorradoras entre estratos  
Fuente: elaboración propia, 2013

Con el fin de comprobar estadísticamente las diferencias encontradas en la *dotación per-cápita* con el uso de tecnologías ahorradoras en los usuarios del estrato uno y dos, y dado que los datos de las muestras de estos proceden de poblaciones con distribución normal (Tabla 21), se realizó el análisis de varianza para muestras independientes (estrato), con el fin de evaluar el efecto del estrato sobre la variable *dotación per-cápita* (l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>) con tecnología.

En la Tabla 21, se muestran los resultados de la prueba de normalidad para la variable *dotación per-cápita* (l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>), en el factor "estrato", con el uso de tecnologías ahorradoras. La hipótesis nula (H<sub>0</sub>) a contrastar es que los datos de la muestra proceden de poblaciones normales. De acuerdo con esto, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (tamaño de muestra mayor que 50) y Shapiro-Wilk (tamaño de muestra igual o menor que 50), donde se evidencia que el "estrato uno -E1" y "estrato

dos -E2'', presentaron normalidad en sus datos con una significancia de 0,255 y 0,281, aceptando la hipótesis nula de normalidad. Así, se establece que los datos de la muestra de los dos estratos (E1 y E2) con tecnología proceden de poblaciones con distribución normal.

Tabla 21. Prueba de normalidad estratos uno y dos con tecnología

Factor: estrato		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Dotación Per-cápita (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	E1	0,154	11	0,200*	0,912	11	0,255
	E2	0,127	20	0,200*	0,944	20	0,281

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia, 2013

En la Tabla 22 se presentan los resultados de la prueba paramétrica en la que se evidencia que no existen diferencias significativas entre los estrato uno y dos con el uso de tecnologías ahorradoras, para la dotación per-cápita con una significancia igual a 0,480.

Tabla 22. Anova Univariante para muestras independientes con tecnología

Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
La distribución de la Dotación per-cápita es la misma entre las categorías del estrato.	Prueba análisis de varianza univariante de muestras independientes	0,480	Aceptar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05.

Variable dependiente: Dotación per-cápita (l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup>) - CT

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	494,805 <sup>a</sup>	1	494,805	0,512	0,480
Intersección	249895,321	1	249895,321	258,778	0,000
Estrato	494,805	1	494,805	0,512	0,480
Error	28004,550	29	965,674		
Total	294391,000	31			
Total corregida	28499,355	30			

a. R cuadrado = 0,017 (R cuadrado corregida = -0,017)

Fuente: elaboración propia, 2013

En la Tabla 23 se relaciona el cuadro de medias y medianas para los estratos evaluados, la cual revela una diferencia de 8,35 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> en la media y de 1,50 l\*hab<sup>-1</sup>\*día<sup>-1</sup> en la mediana entre los estratos, lo que demuestra que existe mayor dotación per-cápita en los usuarios del estrato uno comparado con los usuarios del estrato dos con el uso de tecnologías ahorradoras. En cuanto al consumo residencial existe una diferencia de 0,38 m<sup>3</sup>\*mes<sup>-1</sup> en la media y de 0,72 m<sup>3</sup>\*mes<sup>-1</sup> en la mediana. Sin embargo estas diferencias estadísticas no son significativas entre los dos estratos residenciales (Tabla 22).

Tabla 23. Estadísticos de la dotación per-cápita con tecnología - CT.

Estrato	Media		Mediana	
	Dotación (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	Consumo (m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup> )	Dotación (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	Consumo (m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup> )
E1	98,00	10,60	92,00	9,94

E2	89,65	10,22	93,50	10,66
Total	92,61	-	93,00	-

Fuente: elaboración propia, 2013

### 8.1.7. Evaluación de la eficiencia en la dotación per-cápita bajo el uso de tecnologías ahorradoras.

A fin de probar estadísticamente la hipótesis sobre la cual se formuló este estudio, “los usuarios residenciales de los estratos uno y dos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P “Aguas & Aguas de Pereira” hacen uso eficiente del agua, mediante la implementación de dispositivos tecnológicos, la detección y reparación de fugas al interior de la viviendas,” se realizaron pruebas de significancia estadísticas. Se confirmó la normalidad de los datos, como se evidencia en la Tabla 21, donde se muestra los resultados de la prueba de normalidad para la variable *dotación per-cápita* ( $l^*hab^{-1}*día^{-1}$ ). De acuerdo a lo anterior, dado que los datos de la muestra proceden de poblaciones con distribución normal (Tabla 21), se realizó la “prueba paramétrica -Prueba T” para muestras relacionadas (*uso de tecnología*), con el fin de evaluar el efecto del uso de tecnología ahorradora sobre la variable *dotación per-cápita*. La Tabla 24 muestra los resultados de esta prueba en la que se evidencia que para el estrato uno -E1 no existen diferencias significativas en los niveles del factor *uso de tecnología* (“sin tecnología” -ST y “con tecnología” -CT), para la *dotación per-cápita*, con una significancia igual a 0,434. Mientras que para el estrato dos -E2 se encontró que existen diferencias significativas para la variable *dotación per-cápita*, en los mismos niveles del factor “ST” y “CT”, con una significancia igual a 0,000.

Dado que no existen diferencias significativas entre los estratos uno y dos con el uso de tecnología ahorradora para la *dotación per-cápita*, se decidió agrupar los datos en una sola muestra y se realizó la “prueba paramétrica -Prueba T” para muestras relacionadas, con el fin de evaluar el efecto del uso de tecnología ahorradora sobre la variable *dotación per-cápita* (Tabla 24). Para este grupo de datos se encontró que existen diferencias significativas para la variable *dotación per-cápita*, en los niveles del factor “ST” y “CT”, con una significancia igual a 0,001.

Lo anterior permite definir que la diferencia significativa encontrada en la muestra total es dada por el estrato dos, ya que fue en este estrato donde se evidenció las diferencias significativas en el factor uso de tecnología ahorradora -CT.

Tabla 24. Prueba paramétrica -Prueba T para muestras relacionadas

Factor: Tecnología		Diferencias relacionadas					t	Gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	ST E1 – CT E1	9,82	39,91	12,03	-16,99	36,63	0,82	10	0,434
Par 2	ST E2 – CT E2	21,70	10,53	2,36	16,77	26,63	9,21	19	0,000
Par 3	ST – CT	17,48	25,19	4,52	8,24	26,72	3,86	30	0,001

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05.

Fuente: elaboración propia, 2013

En la Tabla 25 se relaciona el cuadro de medias y medianas para los niveles de tecnología evaluados, la cual revela para el estrato uno -E1 una diferencia de  $9,8 \text{ l}^*\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$  ( $1,04 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ ) en la media y de  $14,0 \text{ l}^*\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$  ( $1,51 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ ) en la mediana, lo que demuestra que existe un 9% menos en promedio en la *dotación per-cápita* en los usuarios cuando se usan tecnologías ahorradoras en la vivienda, sin embargo esta diferencia no es significativa. En el estrato dos -E2 se encontró una diferencia significativa de  $21,7 \text{ l}^*\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$  ( $2,47 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ ) en la media y de  $21,5 \text{ l}^*\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$  ( $2,45 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$ ) en la mediana, lo que demuestra que existe un 20% menos aproximadamente en la *dotación* cuando se usan tecnologías ahorradoras en la vivienda para este estrato.

Tabla 25. Estadísticos según uso de Tecnología

Estratos	Tecnología	Media		Mediana	
		Dotación ( $\text{l}^*\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$ )	Consumo ( $\text{m}^3\text{mes}^{-1}$ )	Dotación ( $\text{l}^*\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$ )	Consumo ( $\text{m}^3\text{mes}^{-1}$ )
E1	Sin tecnología - ST	107,82	11,64	106,00	11,45
	Con tecnología - CT	98,00	10,60	92,00	9,94
E2	Sin tecnología - ST	111,40	12,69	115,00	13,11
	Con tecnología - CT	89,65	10,22	93,50	10,66
E1 - E2	Sin tecnología - ST	110,10	-	112,00	-
	Con tecnología - CT	92,61	-	93,00	-

Fuente: elaboración propia, 2013

El uso de tecnologías ahorradoras en la vivienda conlleva una disminución del 16% en la *dotación per-cápita*, con una diferencia significativa en la media de  $17,5 \text{ l}^*\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$  y de  $19,0 \text{ l}^*\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$  en la mediana (Tabla 25). Lo anterior, permite aceptar estadísticamente la hipótesis nula formulada en este estudio, la cual plantea que a través del uso de tecnologías ahorradoras se hace un uso eficiente del agua, esto mediante una disminución en la dotación de agua potable en los usuarios residenciales del estrato uno y dos de la ciudad de Pereira, Colombia. Lo encontrado en esta investigación se puede comparar con lo reportado por Renwick & Green (2000) en su estudio en la ciudad de California -USA, del cual se obtuvo un 9% de *reducción* al distribuir e instalar gratuitamente *kits ahorradores de agua*. Por su parte, Lee, Tansel, & Balbin (2011) en su estudio realizado en Estados Unidos, encontraron que en las unidades como baterías sanitarias, lavadoras y duchas en su conjunto (ultra ahorradoras) pueden lograr una disminución del consumo total de la vivienda entre el 12,2% y 15,6%, similar a esto Willis R. M., Stewart, Panuwatwanich, Williams, & Hollingsworth (2011) establecieron en Australia que los consumo para estos mismos dispositivos (baterías sanitarias, lavadoras y duchas) y según el nivel de eficiencia, pueden llegar a disminuir el consumo hasta en un 24%. Sin embargo, se han encontrado reducciones hasta un 55,4% en la demanda de agua en una vivienda en Arabia Saudí con tecnologías de ahorro (Taleb & Sharples, 2011).

## **8.2. Escenarios en términos del consumo eficiente de agua y sus efectos financieros sobre la empresa**

Con el fin de conocer el impacto de la reducción en la *dotación per-cápita* a través del uso de tecnologías ahorradoras se hace necesario construir un modelo de simulación, en un *software* que permita evaluar los escenarios de consumo de agua para los usuarios residenciales e incentivar el uso de tecnologías ahorradoras que conlleve a la sostenibilidad de los recursos hídricos; y evaluar los efectos financieros de la reducción de la demanda de agua de los usuarios de los estratos uno y dos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. “Aguas & Aguas de Pereira”.

A partir de los datos de consumo promedio de agua residencial y número de usuarios de los estratos uno y dos, suministrados por “Aguas & Aguas de Pereira”, se inició la construcción de un modelo de simulación en el software *Stella® v.9.1.4* (desarrollado por *Isee SystemsTM*), con el fin de construir escenarios para el consumo de agua residencial bajo el uso de tecnologías ahorradoras en las viviendas, y que permitan evaluar el comportamiento del mismo.

### **8.2.1. Construcción del modelo de simulación**

La construcción del modelo de simulación se realizó en cuatro etapas: *i)* selección de las variables que alimentarán el modelo; *ii)* determinación de datos de entrada y ecuaciones matemáticas que permitan ejecutar el modelo; *iii)* implementación y verificación del modelo; *iv)* Aplicación de escenarios eficientes de consumo.

#### **8.2.1.1. Selección de variables**

En esta etapa, se determinaron las variables que afectan la demanda de agua residencial para los estratos uno y dos de la ciudad de Pereira, siendo estas: *consumo promedio de agua residencial, número de usuarios, demanda total del estrato uno y dos y porcentaje de ahorro* dado al uso de *tecnología ahorradora* en las viviendas. Hecho esto, fue necesario adoptar nuevas variables para ampliar la resolución del modelo y mejorar la realimentación entre las variables.

#### **8.2.1.2. Determinación de datos de entrada y ecuaciones matemáticas**

Una vez seleccionadas las variables, se creó un modelo matemático que permita relacionar las variables (*numeral 8.2.1.1*) y generar el resultado esperado. Para la construcción de este modelo se tomaron los datos de *consumo promedio de agua residencial y número de usuarios residenciales*, registrados mensualmente desde el año 2004 a 2012, asociados a “Aguas & Aguas de Pereira” para los estrato uno y dos.

#### **8.2.1.3. Implementación y verificación de los datos de entrada**

Con las variables y los datos asociados a ellas, se procedió a ingresar la información en *Stella® v.9.1.4*, dándole como valores iniciales los encontrados en enero de 2004 y ejecutándolo hasta diciembre de 2012.

#### **8.2.1.4. Aplicación de escenarios eficientes de consumo de agua**

Se crearon escenarios de consumo eficiente de agua mediante la aplicación del ahorro identificado en la fase dos de la investigación (*uso de tecnologías ahorradoras en la vivienda*). Estos escenarios se aplicaron a partir del año 2011.

## 8.2.2. Desarrollo del modelo de simulación

A continuación se describen las variables utilizadas y la estructura básica del modelo de simulación en el software *Stella® v.9.1.4*, para los usuarios de los estratos uno y dos de “*Aguas & Aguas de Pereira*”, Colombia.

### 8.2.2.1. Variables del modelo de simulación

Si bien en el ítem 8.2.1.1 se establecieron cuatro (4) variables principales, es necesario para la ejecución del modelo y el adecuado funcionamiento del mismo, agregar variables complementarias. Como se detalla en la Tabla 26 se establecieron cuatro variables que describen el comportamiento de las tres (3) principales. A estas cuatro variables se les ha llamado “*variables base*” debido a que estas se repiten en el estrato uno y dos del municipio de Pereira ( $E_j$ ), sin embargo, los valores contenidos en cada una de ellas varía en función del estrato a simular.

Es importante advertir que las unidades expuestas en la Tabla 26 no corresponden a las unidades reales de la variable en su totalidad, sino que son adaptaciones realizadas (en algunos casos) por el modelador para hacer el balance de unidades según las disposiciones del software *Stella® v.9.1.4*.

Tabla 26. Variables utilizadas en el modelo demanda de agua residencial

Variable	Elemento o Tipo (Stella®)	Unidades	Descripción
Usuarios $E_{(j)}$	Convertidor	<i>usuarios</i>	Contiene el número de usuarios para cada <i>mes</i> evaluado.
Consumo $E_{(j)}$	Convertidor	$m^3 * usuarios * mes^{-1}$	Contiene el valor promedio de los $m^3$ consumidos por usuario para cada periodo ( <i>mes</i> ) evaluado.
Demanda $E_{(j)}$	Convertidor	$m^3 * mes^{-1}$	Contiene el total de $m^3$ demandados por el estrato $-j$ en cada <i>mes</i> evaluado, se obtiene del producto entre el “Consumo $E_{(j)}$ y los Usuarios $E_{(j)}$ ”.
Consumo Dispositivo $E_{(j)}$	Convertidor	$m^3 * usuarios * mes^{-1}$	Contiene el valor promedio de los $m^3$ consumidos por usuario para cada periodo ( <i>mes</i> ) evaluado. A esta variable le será aplicado el ahorro encontrado en cada estrato.
Interruptor $E_{(j)}$	Convertidor	<i>Adimensional</i>	Permite activar o desactivar manualmente la implementación de dispositivos ahorradores en el modelo.
Dispositivo $Per_{(j)}$	Convertidor	<i>Porcentaje</i>	Es el porcentaje (%) de ahorro teórico que puede experimentar la variable “Consumo Dispositivo $E_{(j)}$ ”.
Demanda E1 y E2	Variable	$m^3 * mes^{-1}$	Contiene el total de $m^3$ demandados por el estrato $-j$ en cada <i>mes</i> evaluado, se obtiene de la sumatoria entre la “Demanda E1 y Demanda E2”.
Variación Demanda	Bi-flujo	$m^3 * mes^{-2}$	Es la variación en la cantidad de metros cúbicos demandados por los dos estratos.



Variable	Elemento o Tipo (Stella®)	Unidades	Descripción
Residencial			
Implementación $E_{(j)}$	Convertidor	Porcentaje	Es el porcentaje de Usuarios del $E_{(j)}$ a los cuales se les aplicará el ahorro encontrado.
Demanda Residencial	Nivel	$m^3 \cdot mes^{-1}$	Contiene el total de $m^3$ demandados por el estrato $-j$ en cada <i>mes</i> evaluado.

Fuente: elaboración propia, 2013

### 8.2.2.2. Estructura del modelo

Comprende la estructura física y matemática del modelo de simulación construido. Esta estructura, tal y como se dijo anteriormente, va a ser igual entre los dos estratos, por lo cual sólo se explicará el modelo base.

*Esquema del modelo:* Como se menciona en la Tabla 26

Tabla 26 el modelo base se compone de: un (1) *nivel*-cajas- (demanda residencial), el cual representa la acumulación de las variables en el tiempo en relación a una variación en el crecimiento representada por el *flujo*-flechas de doble línea conectadas a las cajas- (1) y, siete (7) *convertidores*-círculos- que representan el comportamiento de, los usuarios, el consumo, el uso de dispositivos (interruptor<sup>1</sup>), el porcentaje de ahorro (dispositivo), el porcentaje de la población que implementa algún dispositivo (implementación). Las flechas rojas se refieren a las relaciones entre las variables y la dirección del flujo de información (*conectores*). En la Figura 48 se observa el esquema del modelo. En el anexo 2 se presenta el código matemático del modelo de simulación.

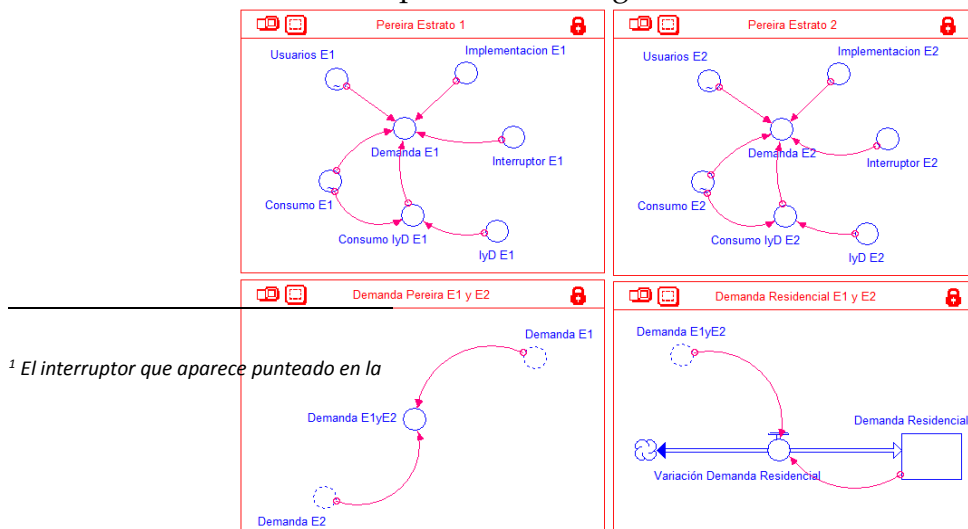


Figura 48 se refiere a una copia hecha a esta misma variable, es decir, que contienen los mismos valores o funciones.

Figura 48. Modelo de simulación para el cálculo de la demanda de agua estrato uno y dos  
Fuente: elaboración propia, 2013.

### 8.2.3. Análisis de sensibilidad

La Figura 49 muestra el comportamiento de la variable “*Demanda residencial ( $m^3 \cdot mes^{-1}$ )*” para los estratos uno y dos de la ciudad de Pereira, para el periodo 2004 - 2012. Una vez identificada la demanda de agua para los dos estratos, se establecieron diferentes escenarios de consumo para los usuarios residenciales, que aplicaría los ahorros encontrados en este estudio como consecuencia del uso de tecnologías ahorradoras en las viviendas.

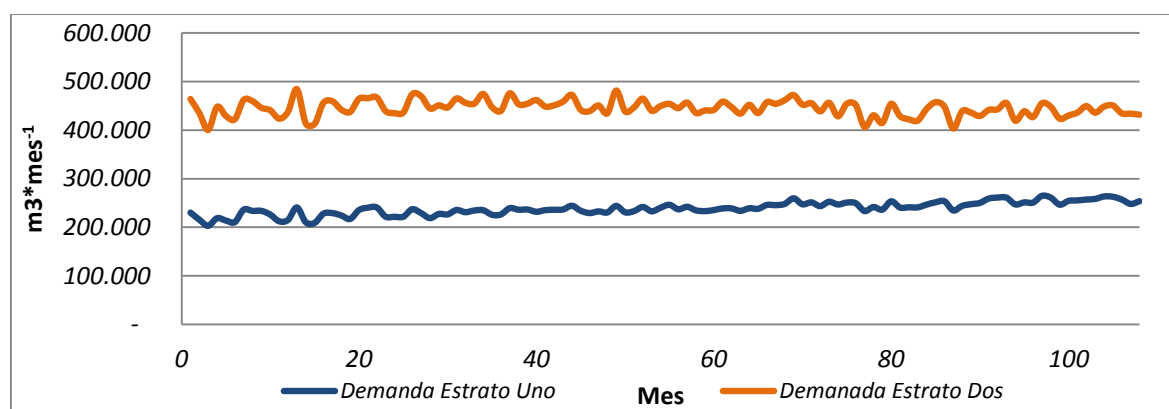


Figura 49. Comportamiento de la demanda de agua de uso residencial estrato uno y dos  
Fuente: elaboración propia, 2013.

A continuación se especifican los ahorros en el consumo de agua encontrados en cada unidad hidrosanitaria y en cada uso de agua identificado dentro de la vivienda. A partir de estos resultados se establecieron los escenarios de reducción en la demanda de agua. Estos escenarios se construyeron con base al ahorro encontrado del 9% para el estrato uno (Tabla 27) y del 20% para el estrato dos (Tabla 28).

Tabla 27. Ahorro eficiente en el consumo de agua para el estrato uno

Unidad Hidrosanitaria	Sin Tecnología	Con Tecnología	Ahorro Unidad Hidrosanitaria (%)	Ahorro en Consumo (%)	Ahorro por Usos (%)		Porcentaje con respecto al ahorro
Lavadero	27.3	25.9	5.4%	1.4%	1.4%	Aseo	15.2%
Lavadora	22.9	22.9	0.1%	0.0%		Hogar	0.2%
Sanitario	19.9	17.8	10.6%	2.0%	5.0%	Aseo	21.6%
Ducha	15.4	13.1	14.7%	2.1%		Personal	23.1%
Lavamanos	5.4	4.3	19.0%	0.9%	2.5%	Prep. Alimentos	10.5%
Lavaplatos	15.6	12.9	17.5%	2.5%			28.1%
Pérdidas	1.0	0.8	13.4%	0.1%		Pérdidas	1.3%

Otros	0.172	0.166	3.8%	0.0%	0.0%	Otros	0.1%
Dotación (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	108	98	Ahorro con Dispositivos Tecnológicos	9.0%		Total	100.0%
Consumo (m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup> )	12	11					
Ahorro (l*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	9.74						

Fuente: elaboración propia, 2013

Tabla 28. Ahorro eficiente en el consumo de agua para el estrato dos

Unidad Hidrosanitaria	Sin Tecnología	Con Tecnología	Ahorro Unidad Hidrosanitaria (%)	Ahorro en Consumo (%)	Ahorro por Usos (%)	Porcentaje con respecto al ahorro	
Lavadero	23.8	19.9	16%	3.5%	3.7%	Aseo Hogar	18.7%
Lavadora	22.4	22.1	1%	0.2%		0.0%	
Sanitario	16.8	12.1	28%	4.2%	9.7%	Aseo Personal	48.9%
Ducha	15.2	11.2	26%	3.5%		0.0%	
Lavamanos	6.5	4.3	34%	2.0%		0.0%	
Lavaplatos	25.7	19.3	25%	5.7%	5.7%	Prep. Alimentos	28.4%
Pérdidas	1.2	0.3	75%	0.8%	0.8%	Pérdidas	4.0%
Dotación (L*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	112	89	Ahorro con Dispositivos Tecnológicos	20%		Total	100%
Consumo (m <sup>3</sup> *mes <sup>-1</sup> )	13	10					
Ahorro (L*hab <sup>-1</sup> *día <sup>-1</sup> )	22.3						

Fuente: elaboración propia, 2013

#### 8.2.4. Escenarios desagregados por usos de agua y reducción de pérdidas

En la Tabla 29, se relaciona cada escenario de uso eficiente en el consumo de agua para los usuarios residenciales del estrato uno y dos con su respectivo impacto sobre la demanda de agua total para estos estratos socioeconómicos, los escenarios de consumo eficiente son diferentes para ambos estratos debido a que se identificaron distintos ahorros para cada uno de ellos.

Tabla 29. Escenarios de uso eficiente y reducción de pérdidas

Estrato Uno	Escenario de uso eficiente	Impacto de la aplicación del escenario
Esc 1.1	Ahorro del 1.4% en aseo del hogar y la reducción del 0.1% en las pérdidas de agua.	Este escenario (Esc 1.1) supondría un ahorro de 1.5% en la demanda de agua total, estableciendo una disminución de 3806 m <sup>3</sup> para el año 2012, pasando de 253.7 a 249.9 mil m <sup>3</sup> .
Esc 1.2	Ahorro del 2.5% en la preparación de alimentos y la reducción del 0.1% en las pérdidas de agua.	De acuerdo a esta configuración de ahorro (Esc 1.2), la demanda total de agua de uso residencial para este estrato presentará una reducción de 2.6%, pasando de 253,7 mil m <sup>3</sup> al año 2012 a 247,1 mil m <sup>3</sup> , es decir, una disminución de 6.6 mil m <sup>3</sup> .
Esc 1.3	Ahorro del 5.0% en aseo personal y la reducción del 0.1% en las pérdidas de agua.	Bajo este escenario (Esc 1.3) la demanda total de agua de uso residencial para el estrato uno se reducirá en un 5.1%, pasando de 253.7 mil m <sup>3</sup> al año 2012 a 240,8 mil m <sup>3</sup> , es decir, una disminución de 12,9 mil m <sup>3</sup> .
Esc 1.4	Ahorro del 5.0% en aseo personal, 2.5% en la preparación de alimentos y la reducción del	La presente configuración de ahorro (Esc 1.4) resultaría en una disminución en la demanda total de 7.6%, pasando de 253.7 a 234.5 mil m <sup>3</sup> en el año 2012, con una diferencia de

	0.1% en las pérdidas de agua.	19,2 mil m <sup>3</sup> .
Esc 1.5	Ahorro del 5.0% en aseo personal, 2.5% en la preparación de alimentos, 1.4% en aseo del hogar y la reducción del 0.1% en las pérdidas de agua.	Bajo este escenario de ahorro (Esc 1.5), la demanda total de agua tendría una disminución de 22,8 mil m <sup>3</sup> , pasando de 253.7 a 230,9 mil m <sup>3</sup> , lo anterior indica un porcentaje de reducción de 9.0%.
Estrato Dos	Escenario de uso eficiente	Impacto de la aplicación del escenario
Esc 2.1	Ahorro del 3.7% en aseo del hogar y la reducción del 0.8% en las pérdidas de agua.	Este escenario (Esc 2.1) supondría un ahorro de 4.5% en la demanda de agua total, estableciendo una disminución de 19,4 mil m <sup>3</sup> para el año 2012, pasando de 431.7 a 412.3 mil m <sup>3</sup> .
Esc 2.2	Ahorro del 5.7% en la preparación de alimentos y la reducción del 0.8% en las pérdidas de agua.	De acuerdo a esta configuración de ahorro (Esc 2.2), la demanda total de agua para este estrato presentará una reducción de 6.5%, pasando de 431.7 mil m <sup>3</sup> al año 2012 a 403.7 mil m <sup>3</sup> , es decir, una disminución de 28 mil m <sup>3</sup> .
Esc 2.3	Ahorro del 9.7% en aseo personal y la reducción del 0.8% en las pérdidas de agua.	Bajo este escenario (Esc 2.3) la demanda total de agua de uso residencial para el estrato dos se reducirá en un 10.5%, pasando de 431.7 mil m <sup>3</sup> al año 2012 a 386.4 mil, es decir, una disminución de 45,3 mil m <sup>3</sup> .
Esc 2.4	Ahorro del 9.7% en aseo personal, 5.7% en la preparación de alimentos y la reducción del 0.8% en las pérdidas de agua.	La presente configuración de ahorro (Esc 2.4) resultaría en una disminución en la demanda total de 16.2%, pasando de 431.7 a 361.8 mil m <sup>3</sup> en el año 2013, con una diferencia de 70 mil m <sup>3</sup> .
Esc 2.5	Ahorro del 9.7% en aseo personal, 5.7% en la preparación de alimentos, 3.7% en aseo del hogar y la reducción del 0.8% en las pérdidas de agua.	Bajo este escenario de ahorro (Esc 2.5), la demanda total de agua tendría una disminución de 86.3 mil m <sup>3</sup> , pasando de 431,7 a 345.4 mil m <sup>3</sup> , lo anterior indica un porcentaje de reducción de 20.0%.

Fuente: elaboración propia, 2013

En la Figura 50 se evidencia el comportamiento de la demanda de agua para las configuraciones de ahorro del Esc 1.1. hasta el Esc 1.4 antes mencionadas para el estrato uno. De igual forma en la Figura 51 se presenta la síntesis de los escenarios de ahorro (Esc 2.1. hasta el Esc 2.4) para el estrato dos.

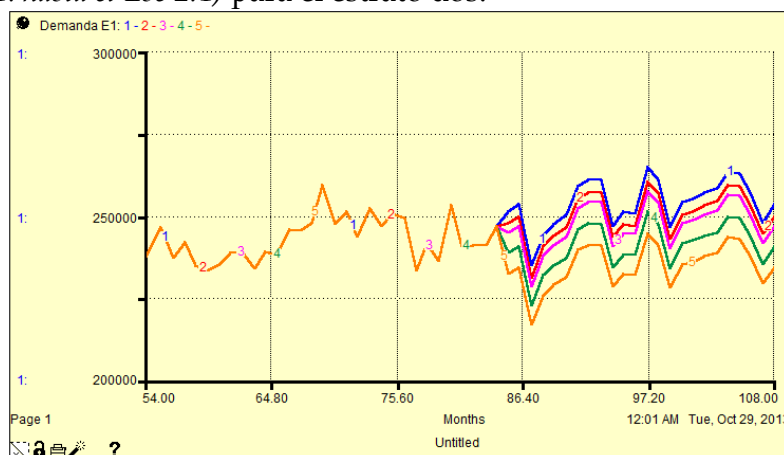


Figura 50. Síntesis de escenarios de uso eficiente en el estrato uno

Fuente: Elaboración propia, 2013.

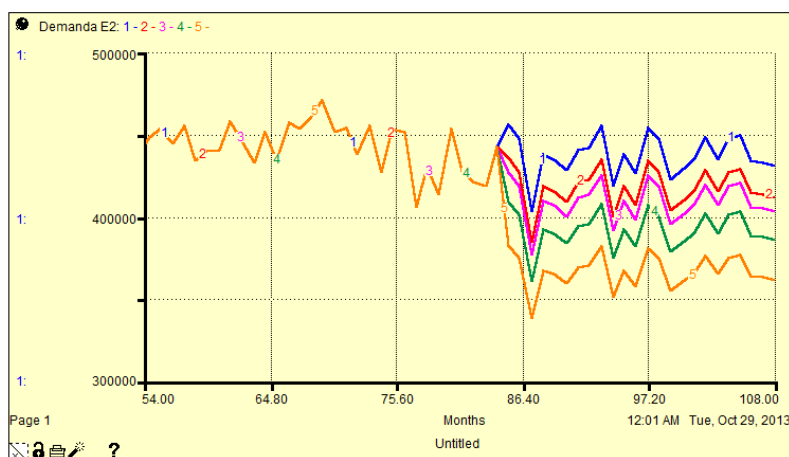


Figura 51. Síntesis de escenarios de uso eficiente en el estrato dos  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

En la Figura 52 se presentan los escenarios óptimos en términos del consumo eficiente de agua, que corresponden a los escenarios Esc 1.5 y Esc 2.5 para el estrato uno y dos respectivamente.

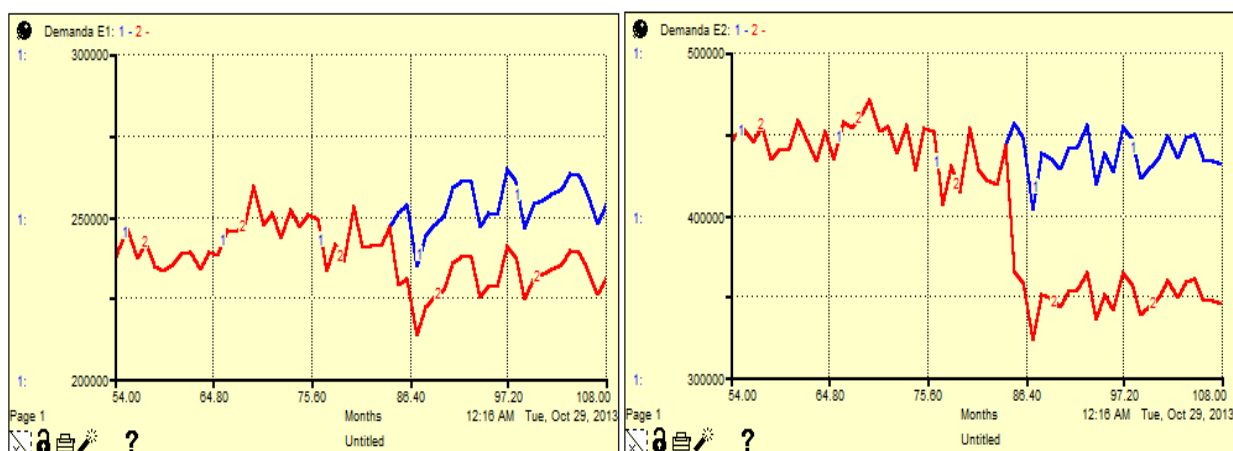


Figura 52. Escenario óptimo de consumo de agua para el estrato uno y dos  
Fuente: elaboración propia, 2013.

## 8.2.5. Efectos financieros de las reducciones de la demanda de agua residencial del estrato uno y dos para “Aguas & Aguas de Pereira”

### 8.2.5.1. A corto plazo

A partir del momento en el cual se produzca una reducción en la demanda de agua para el estrato uno y dos, se producirá un efecto sobre la cantidad de dinero que recibe la empresa por el agua suministrada a los usuarios residenciales (Cobacho Jordán, Ribelles Aguilar, & Iglesias Rey, 1998) y por el cobro del servicio de alcantarillado. Esta disminución del consumo se puede ver desde dos aspectos: *el primero* tiene que ver con que “Aguas & Aguas” entraría a producir una cantidad de agua que no será consumida por los usuarios de estos estratos y por tanto estará incurriendo en costos innecesarios; y *segundo*, si la empresa decidiera disminuir el volumen de agua a suministrar dada la reducción, esto sería un costo evitado. Lo anterior indica que es de

esperarse una variación en los costos de producción, mas no en las inversiones a realizarse en caso de existir alguna.

En la Tabla 30, se presentan los costos de reducción y los costos de producción del volumen de agua para cada escenario en un periodo de simulación de dos (2) años. Los costos de reducción están expresados con base al valor de la tarifa del año 2012 para consumo básico del estrato cuatro en 1229,71 \$\*m<sup>-3</sup>, debido a que esta es la tarifa plena. Los costos de producción se relacionan con base a los costos medios del agua (costo de producir una unidad adicional de agua -m<sup>3</sup>), el cual está dado por los costos variables como insumos químicos, electricidad y tasas ambientales (Guerrero Erazo & Arango, 2008). Para “Aguas & Aguas” el costo marginal es de 100,9 \$\*m<sup>-3</sup>. Este valor de producción representa lo que le costaría tratar a la *empresa* el volumen de agua que se reducirá bajo la implementación de dispositivos ahorradores en las viviendas de los usuarios residenciales del estrato uno y dos.

Tabla 30. Costos de la reducción de la demanda “Aguas & Aguas de Pereira” en un periodo de dos años

	Escenarios de uso eficiente estrato uno y dos	Reducción demanda (m <sup>3</sup> )	Costo Reducción (1229,71 \$/m <sup>3</sup> )	Beneficio – Ahorro costo medio (100,9 \$/m <sup>3</sup> )
<i>Esc 1.1</i>	Ahorro del 1.5% en la demanda del estrato uno	91,424	112,424,478	9,224,638
<i>Esc 1.2</i>	Ahorro del 2.6% en la demanda del estrato uno	158,468	194,869,106	15,989,374
<i>Esc 1.3</i>	Ahorro del 5.1% en la demanda del estrato uno	310,840	382,243,192	31,363,767
<i>Esc 1.4</i>	Ahorro del 7.6% en la demanda del estrato uno	463,213	569,617,326	46,738,164
<i>Esc 1.5</i>	Ahorro óptimo del 9.0% en la demanda del estrato uno	548,541	674,546,796	55,347,823
<i>Esc 2.1</i>	Ahorro del 4.5% en la demanda del estrato dos	473,239	581,947,186	47,749,852
<i>Esc 2.2</i>	Ahorro del 6.5% en la demanda del estrato dos	683,568	840,590,393	68,972,010
<i>Esc 2.3</i>	Ahorro del 10.5% en la demanda del estrato dos	1,104,225	1,357,876,808	111,416,326
<i>Esc 2.4</i>	Ahorro del 16.2% en la demanda del estrato dos	1,703,662	2,095,009,977	171,899,478
<i>Esc 2.5</i>	Ahorro óptimo del 20.0% en la demanda del estrato dos	2,103,286	2,586,432,073	212,221,578

Fuente: elaboración propia, 2013.

De acuerdo con la tabla 30, en el *Esc 1.1* y *Esc 2.1*, “Aguas & Aguas de Pereira” tendría una reducción en sus ingresos vía facturación del estrato uno y estrato dos en 619 millones de pesos y un beneficio (ahorro) vía disminución del costo marginal, calculado en 57 millones de pesos aproximadamente, así, *Aguas & Aguas* estaría dejando de recibir un valor neto de 562 millones de pesos en un periodo simulado de dos años, lo que representa un valor de 281 millones de pesos anualmente. Adicional a

ello, los valores de consumo residencial tendientes a una disminución y bajo la implementación de dispositivos ahorradores pueden generar una disminución en la presión sobre el recurso hídrico, debido a que es una menor cantidad de agua la que se va a sustraer de los cuerpos de agua.

Para el escenario *Esc 1.5* y *Esc 2.5*, "*Aguas & Aguas de Pereira*" reducirá sus ingresos en 2.91 mil millones de pesos y obtendrá un ahorro de 268 millones de pesos aproximadamente dado la disminución de los costos marginales, por lo que *Aguas & Aguas* tendrá una disminución neta de 2.64 mil millones de pesos, lo que representa un valor de 1.32 mil millones de pesos para cada año.

## 9. CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo a lo observado el consumo de agua de uso residencial para los estratos uno y dos de la empresas *Aguas y Aguas de Pereira* es de  $11,62 \text{ m}^3 \cdot \text{mes}^{-1}$  y  $12,71 \text{ m}^3 \cdot \text{mes}^{-1}$ , respectivamente.
- ✓ Se encontró que el lavadero es la unidad hidrosanitaria que mayor porcentaje de consumo representa dentro de las viviendas muestreadas en el estrato uno con un 25,4%; seguido por la lavadora (21,3%), el sanitario (18,5%), el lavaplatos (14,5%), la ducha (14,3%) y en menor medida el lavamanos (5,0%).
- ✓ En el estrato dos, se evidenció que el lavaplatos es la unidad hidrosanitaria que mayor porcentaje de consumo representa dentro de las viviendas muestreadas con un 23,0%; seguido por el lavadero (21,4%) y la lavadora (20,1%).
- ✓ Se identificó que el mayor consumo de agua en los usuarios residenciales del estrato uno y dos lo constituye el aseo del hogar y aseo personal (45,5% y 37,7%, respectivamente), ya que estos demandan el 83,2% del total del agua que ingresa a la vivienda. En menor medida se encuentran la preparación de alimentos (14%) y otros usos (0.2%). Se identificó que las pérdidas de agua al interior de estas viviendas están alrededor del 1%.
- ✓ La unidad hidrosanitaria que mayor disminución presentó con respecto a la implementación de un dispositivo reductor de caudal fue el lavadero, llegando a una dotación de  $23,5 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ , lo que presenta una disminución del 15%.
- ✓ Se determinó que los dispositivos ahorradores de agua en las viviendas, tales como reductores de caudal, válvulas doble descarga, aireadores (mezcladores) y al reparar las fugas físicas en la vivienda, logran un ahorro en la *dotación per-cápita* hasta del 9% para el estrato uno y del 20% para el estrato dos en la ciudad de Pereira, Colombia.
- ✓ De acuerdo a las mediciones realizadas se determinó la dotación de los usuarios residenciales en  $108 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$  en el estrato uno y  $112 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$  en el estrato dos, teniendo en cuenta lo anterior, esta dotación per-cápita se encuentra dentro de los valores estimados de consumo en relación con el *Reglamento técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico – (RAS, 2000)* que define como dotación de diseño en  $120 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$  para usuarios residenciales.
- ✓ Los escenarios de uso eficiente de agua mediante tecnologías ahorradoras muestran que la empresa “*Aguas & Aguas de Pereira*” reduce la demanda de agua para los estratos uno y dos en 1.32 millones de  $\text{m}^3$  al año. El efecto de esta reducción podría ocasionar beneficios económicos como el aplazamiento de inversiones futuras de infraestructura, sin embargo representa una disminución de los ingresos netos para la empresa en 1500 millones de pesos anualmente.
- ✓ Los programas de uso eficiente y ahorro de agua no están claramente instrumentados por la Ley 373 de 1997, pues no existe un mecanismo que permita a las empresas de servicios públicos de acueducto compensar financieramente la disminución en los consumos de agua.



## **10. RECOMENDACIONES**

- ✓ Es importante realizar estudios posteriores tendientes a identificar y evaluar los beneficios ambientales y los efectos económicos (externalidades) sobre los usuarios y la Empresa Aguas y Aguas de Pereira, que se producen como resultado de la disminución en el consumo de agua en las viviendas de la ciudad de Pereira.
- ✓ El desarrollo de investigaciones en torno a la caracterización del consumo de agua, la definición de patrones de agua de uso residencial y la estimación de consumos eficientes bajo la implementación de dispositivos ahorradores (alternativa tecnológica) en las viviendas de los usuarios pertenecientes a los estratos tres, cuatro, cinco y seis de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. - Aguas & Aguas de Pereira.

## 11. REFERENCIAS

- Aguilar Ortega, F. (2003). Modelo de pronóstico del consumo de agua potable. *VII Jornadas de Investigación. Agua: Consumo Doméstico. Mesa 12*, pág. 16. Zacatecas: Centro de Estudios Multidisciplinarios, UAZ.
- Álvarez, P., & Vega, P. (2009). Actitudes ambientales y conductas sostenibles. Implicaciones para la educación ambiental. *Revista de Psicodidáctica*, 14(2), 245-260.
- Arbués García, F., & Barberán Ortí, R. (2005). Análisis y diseño de la tasa que grava el consumo doméstico de agua. El caso de la ciudad de Zaragoza. *XII Encuentro de Economía Pública*, (pág. 25). Palma de Mallorca.
- Arbués García, F., & Villanúa Martín, L. (2000). La demanda de agua en Zaragoza. Estimación de un modelo dinámico con datos de panel. *VII Congreso de Economía Pública*. Zaragoza.
- Arbués García, F., Barberán Ortí, R., & Villanúa Martín, I. (2008). Tamaño de los hogares y demanda de agua residencial: una aproximación empírica. *III Congreso de Aerna*, (pág. 13). Palma de Mallorca.
- Arbués, F., García-Valiñas, M. Á., & Martínez-Espiñeira, R. (2003). Estimation of residential water demand: a state-of-the-art-review. *Journal of Socio-Economics*, 32, 81-102.
- Arregui de la Cruz, F., Cabrera Rochera, E., & Cobacho Jordán, R. (2007). *Gestión integral de contadores de agua* (Primera ed.). (Instituto Tecnológico del Agua, Ed.) España: Gil Industrias Gráficas, S.L.
- Barberan Ortí, R., & Salvador Figueras, M. J. (2010). *El uso del agua en los hogares de la ciudad de Zaragoza* (Primera ed., Vol. 6). Zaragoza, España: Ayuntamiento de Zaragoza, Centro de Documentación del Agua y del Medio Ambiente.
- Bastidas Delgado, D. C. (2009). *Caracterización y estimación de consumos de agua de usuarios residenciales. Caso de estudio: Bogotá*. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Beal, C. D., Stewart, R. A., & Fielding, K. (2013). A novel mixed method smart metering approach to reconciling differences between perceived and actual residential end use water consumption. *Journal of Cleaner Production*, 60, 116-128.
- Bergen, S. D., Bolton, S. M., & Fridley, J. L. (2001). Design principles for ecological engineering. *Ecological Engineering*, 18, 201 - 210.
- Bourguett Ortiz, V. J., Casados Prior, V. H., Vázquez, M., González Soberanis, E., Hansen Rodríguez, M. P., Buenfilm Rodríguez, M. O., & Cervantes Quintana, M. T. (2003). *Manual para el uso eficiente y racional del agua. ¡Utiliza sólo la necesaria!* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA. Ciudad de México: Subordinación de Editorial y Gráfica.
- Bowen, P. T., & AWWA. (1993). *Residential water use patterns*. Denver, Colorado: The Foundation and American Water Works Association.
- Britton, T. C., Stewart, R. A., & O'Halloran, K. R. (2013). Smart metering: enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management. *Journal of Cleaner Production*, 54, 166-176.
- Cali Chex, E. (2009). ¿Los medidores, resuelven el uso eficiente del agua? Caso Buena Vista, Santa Lucía Uatatlán. *Agua 2009, Seminario Internacional: Uso Eficiente del Agua* (pág. 7). Cali: Infoandina.
- California Natural Resources Agency. (2009). *California Water Plan (Update 2009). Integrated Water Management. Resource Management Strategies*. (Vols. Bulletin 160-09). Sacramento, California, Estados Unidos: Center for Collaborative Policy, California State University.

- Campbell, H. E., Larson, E. H., Johnson, R. M., & Waits, M. J. (1999). *Some best best in residential water conservation. Results of multivariate regression analysis, City of Phoenix 1990-1996*. The Morrison Institute for Public Policy, Arizona Department of Water Resources (ADWR). Arizona: The School of Public Affairs.
- Carragher, B. J., Stewart, R. A., & Beal, C. D. (2012). Quantifying the influence of residential water appliance efficiency on average day diurnal demand patterns at an end use level: A precursor to optimized water service infrastructure planning. *Resources, Conservation and Recycling*, 62, 81-90.
- Chao, L. L. (1994). *Estadística para las Ciencias Administrativas* (Tercera ed.). (M. E. Suárez R., Ed., & J. M. Castaño, Trad.) Long Beach, California, Estados Unidos: McGraw Hill Interamericana S.A.
- Cobacho Jordán, R., Ribelles Aguilar, J. V., & Iglesias Rey, P. L. (1998). Impacto económico del uso eficiente del agua en abastecimientos urbanos. *Simposio I: Usos urbano-industriales y funciones de salud de las aguas* (pág. 11). Grupo Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Código Colombiano de Fontanería, 1500 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC 2004).
- Comité Municipal de Educación Ambiental de Pereira , Acuerdo 33 (Concejo Municipal de Pereira 2010).
- Corraliza, J. A., & Martín, R. (2000). Estilos de vida, actitudes y comportamientos ambientales. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, 1(1), 31-56.
- Decreto 1743 (Ministerio de Educación Nacional, República de Colombia 1994).
- Dickinson, M. A. (2003). The multiple benefits of water efficiency: Environmental improvements to the watershed. *II International Conference Efficient Use and Management of Urban Water Supply*. Tenerife, Islas Canarias, España: International Water Association.
- Dziegielewski, B., & Baumann, D. D. (2011). Predicting future demands for water. *El Sevier*.
- ECODES. (2010). *Consejos prácticos para ahorrar agua*. Fundación Ecología y Desarrollo.
- ECODES. (2010). *Planes Integrales de Ahorro de Agua: la herramienta de planificación. Plan integral de ahorro de agua en Cantabria*. Fundación Ecología y Desarrollo, Dirección General de Obras Hidráulicas y Ciclo Integral del Agua.
- ECODES. (2011). *Planes Integrales de Ahorro de Agua: la herramienta de planificación. Plan integral de ahorro de agua en Vitoria-Gasteiz*. Fundación Ecología y Desarrollo.
- European Commission;. (2006). *EU Water Initiative - Research Component*. General Information, EU Water Interactive.
- Fernández Soler, M., & Viñuales Edo, V. (1999). *Zaragoza, ciudad ahorradora de agua. 50 buenas prácticas*. Fundación Ecología y Desarrollo, Zaragoza, España.
- García Díaz, R. (2010). *Manual de fórmulas de ingeniería* (Segunda ed.). (Grupo Noriega, Ed.) México: Limusa S.A.
- Global Water Partnership. (2006). *La audacia de los pequeños pasos. Diez años de Global Water Partnership*. Estocolmo, Suecia: Elanders AB.
- Gosselin, F. (2008). Redefining ecological engineering to promote its integration with sustainable development and tighten its links with the whole of ecology. *Ecological Engineering*, 32, 199-205.
- Green, D., & Maddaus, W. (2010). *Water conservation for small and medium-sized utilities*. Denver, Colorado, Estados Unidos: American Water Works Association.
- Guerrero Erazo, J., & Arango, A. (2008). *Evaluación económica de proyectos de reducción de pérdidas y uso eficiente de agua, en empresas de acueducto*. Pereira, Risaralda, Colombia: Universidad Tecnológica de Perira.

- Instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua, Decreto 3102 (Ministerio de Desarrollo Económico 1997).
- Jaramillo-Mosqueria, L. A. (2003). *Modelando la demanda de agua de uso residencial en México*. Instituto Nacional de Ecología, Dirección General de Investigación de Política y Economía. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología Periférico Sur 5000.
- Jorgensen, B., Graymore, M., & O'Toole, K. (2009). Household water use behavior: An integrated model. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 227-236.
- Keen, M., Brown, V. A., & Dyball, R. (2005). *Social learning in environmental management. Towards a sustainable future*. London: Earthscan.
- Lee, M., & Tansel, B. (2012). Life cycle based analysis of demands and emissions for residential water-using appliances. *Journal of Environmental Management*, 101, 75-81.
- Lee, M., Tansel, B., & Balbin, M. (2011). Influence of residential water use efficiency measures on household water demand: A four year longitudinal study. *Resources, Conservation and Recycling*, 56(1), 1-6.
- Ley 373, Programa para el uso eficiente y ahorro del agua (Congreso de Colombia 1997).
- Ley General de Educación 115 (República de Colombia 1994).
- Maddaus, W. O. (1984). *Residential water conservation projects: summary report*. Office of Policy Research, U.S. Department of Housing and Urban Development.
- Manco Silva, D. G., Guerrero Erazo, J., & Ocampo Cruz, A. M. (2012). Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11(21), 23-38.
- Marunga, A., Hoko, Z., & Kaseke, E. (2006). Pressure management as a leakage reduction and water demand management tool: The case of the City of Mutare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 763-770.
- Medición de agua en conductos cerrados. Medidores para agua potable fría., 1063 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC 2007).
- Mitsch, W. J. (2012). What is ecological engineering? *Ecological Engineering*, 45, 5-12.
- Mitsch, W., & Jorgensen, S. (2003). Ecological engineering: A field whose time has come. *Ecological Engineering*, 363-377.
- Obregon Herrera, E. (2003). Modelos de estimación de demanda de agua. *Estudios de Estimación de Demanda de Agua* (pág. 22). Monterrey: EGAP - CAEP.
- Política Nacional de Educación Ambiental (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo territorial, República de Colombia 2002).
- Renwick, M. E., & Green, R. D. (2000). Do residential water demand side management policies measure up? An analysis of eight California Water Agencies. *Journal of Environmental Economics and Management*, 40, 37-55.
- Saenz Forero, R. (1984). *Hidráulica básica para ingenieros sanitarios*. Lima, Perú: CEPIS/OPS.
- Sánchez T, L. D., & Sánchez Torres, A. (2004). Uso Eficiente del Agua. *Ponencias sobre una perspectiva general temática* (pág. 76). International Water and Sanitation Centre -IRC. Delft, Holanda. Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico -CINARA. Colombia: IRC International Water and Sanitation Centre.
- Schleich, J., & Hillenbrand, T. (2009). Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological Economics*, 68, 1756-1769.
- Taborda, P., Góngora, M. M., & Garzón, F. (2009). *Uso residencial del agua en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia*. Artículo para publicación, Grupo de Investigación en Gestión Avanzada del Agua Urbana, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia.
- Taleb, H. M., & Sharples, S. (2011). Developing sustainable residential buildings in Saudi Arabia: A case study. *Applied Energy*, 88, 383-391.

- Terrebonne, R. (2005). *Residential water demand management programs: A selected review of the literature*. Water Conservation Commission, U.S. Department of Agriculture. Georgia: Water Policy Working Paper #002.
- UNESCO. (2003). *Agua para todos. Agua para la vida. Informe de la Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (Resumen)*. Paris: Unesco (Mundi-Prensa).
- White, F. M. (2008). *Mecánica de Fluidos* (Sexta ed.). España: McGraw-Hill Interamericana.
- Willis, R. M., Stewart, R. A., Giurco, D. P., Talebpour, M. R., & Mousavinejad, A. (2013). End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production*, 60, 107-115.
- Willis, R. M., Stewart, R. A., Panuwatwanich, K., Williams, P. R., & Hollingsworth, A. L. (2011). Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. *Journal of Environmental Management*, 92, 1996-2009.
- Willis, R. M., Stewart, R. A., Panuwatwanich, K., Jones, S., & Kyriakides, A. (2010). Alarming visual display monitors affecting shower end use water and energy conservation in Australian residential households. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 1117-1127.
- Winpenny, J. (1994). Managing water as an economic resource. *Routledge*, 10-16.
- Zhanga, H. H., & Brown, D. F. (2005). Understanding urban residential water use in Beijing and Tianjin, China. *Habitat International*, 29, 469-491.

## 12. ANEXOS

## Anexo 1. Formato encuesta socioeconómica

ENCUESTA SOCIOECONÓMICA										CÓDIGO ENCUESTA:	
										VERSION: I	
										FECHA: Octubre - 2011	
<p align="center"><b>EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE AGUA DE USO RESIDENCIAL</b>          "Análisis desde la demanda" Estudio de caso: Pereira, Risaralda – Colombia</p>											
Fecha de visita		<div> <div>día</div> <div></div> </div> <div> <div>Mes</div> <div></div> </div> <div> <div>Año</div> <div></div> <div></div> <div></div> </div>	<div> <div>Hora</div> <div></div> </div> <div> <div>Min</div> <div></div> </div>								
			<div> <div>Hora</div> <div></div> </div> <div> <div>:</div> <div></div> </div> <div> <div>Min</div> <div></div> </div>								

## I. Presentación del Proyecto

La Universidad Tecnológica de Pereira y el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias, con el apoyo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. – Aguas y Aguas de Pereira, vienen desarrollando el proyecto “Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial”, con el objetivo de *determinar la influencia de los aspectos tecnológicos y socioculturales en el uso de agua en el sector residencial de la ciudad de Pereira-Risaralda.*

La investigación se realizará con el fin de mejorar el conocimiento de los factores que afectan el consumo de agua en las viviendas y con ello favorecer el ahorro de este recurso sin disminuir la calidad de vida de los ciudadanos. La información obtenida en este estudio será tratada de forma exclusiva, en ningún momento se harán públicos datos que permitan identificar la persona entrevistada ni el hogar al que pertenece.

## II. Identificación

Nombre del encuestado: _____		<table border="1"> <tr> <th colspan="3">Edad del encuestado (años)</th> </tr> <tr> <td>15 a 25</td> <td>26 a 36</td> <td>37 o más</td> </tr> </table>		Edad del encuestado (años)			15 a 25	26 a 36	37 o más	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Sexo</th> </tr> <tr> <td>F</td> <td>M</td> </tr> </table>		Sexo		F	M
Edad del encuestado (años)															
15 a 25	26 a 36	37 o más													
Sexo															
F	M														
Dirección: _____		Teléfono: _____													
Barrio: _____		Sector: _____													
Municipio: _____		Departamento: _____													

### III. Información general de la vivienda

1. Estrato:	<input type="text"/>	2. Número de personas en la vivienda	<input type="text"/>	Matrícula No.	<input type="text"/>	
3. Tipo de vivienda:	Cuarto o cuartos <input type="text"/>	Apartamento <input type="text"/>	Casa <input type="text"/>	Otra <input type="text"/>	¿Cuál?	<input type="text"/>
4. Material predominante paredes de la vivienda:	Guadua, Esterilla, Madera burda, Caña <input type="text"/>	Zinc, tela, cartón, latas <input type="text"/>	Bloque, Ladrillo, Madera pulida <input type="text"/>	Bahareque <input type="text"/>	Otra <input type="text"/>	¿Cuál?
5. Número de pisos	1 piso <input type="text"/>		2 pisos <input type="text"/>		Más de 2 pisos <input type="text"/>	
6. Antigüedad de la vivienda	0 - 10 años <input type="text"/>		10 - 20 años <input type="text"/>		Más de 20 años <input type="text"/>	
7. Forma de Tenencia de la vivienda:	Propia <input type="text"/>	Arrendada <input type="text"/>	Comodato <input type="text"/>	Posesión <input type="text"/>	Otra <input type="text"/>	¿Cuál?
8. Tiempo de residencia en la vivienda:	# de meses <input type="text"/>	# de años <input type="text"/>				
9. ¿Con Qué tipo de servicios públicos cuenta?	Acueduct <input type="text"/>	Alcantarillad <input type="text"/>	Energía eléctrica <input type="text"/>	Telefonía <input type="text"/>	Gas domiciliario <input type="text"/>	

## IV. Información básica del grupo familiar

## 10. Información del grupo familiar

[illegible]

Estado Civil:	1 Soltero (a)	2 Casado (a)	3 Viudo (a)	4 Separado/Divorciado (a)	5 Unión Libre		
Nivel de escolaridad	0 No lee ni escribe	1 Lee y escribe, sin ir a escuela	2 Preescolar	3 Primaria (1-5)	4 Secundaria (6 - 12)	5 Técnico - Tecnológico	6 Universidad - Postgrado

11. Personal Flotante (Visitantes) ☐ SI ☐ NO ☐ ¿Cuántas? \_\_\_\_\_

12. ¿Tienen ayuda para las tareas del hogar (limpieza, cuidado de niños y/o ancianos, etc)? ☐ SI ☐ NO ☐

En caso afirmativo, ¿Por parte de quién? ☐ Familiar ☐ Amigo (a) ☐ Otros ☐

¿Cuántas horas a la semana? \_\_\_\_\_ Esta persona ¿Se ducha habitualmente en la casa? ☐ SI ☐ NO ☐

V. Ingresos familiares		
13. ¿Cuál es el ingreso promedio mensual?	<input type="checkbox"/> 0 - 2 SMLMV	<input type="checkbox"/> 2 - 4 SMLMV <input type="checkbox"/> Mayor a 4 SMLMV
14. ¿Realiza usted alguna actividad económica al interior de la vivienda?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	¿Cuál? _____

VI. Sistema de abastecimiento de agua		
15. ¿Cuántas unidades de consumo de agua existen en la vivienda?	<input type="checkbox"/> Sanitarios <input type="checkbox"/> Lavamanos <input type="checkbox"/> Lavaplatos <input type="checkbox"/> Duchas <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Lavadora <input type="checkbox"/> Lavadero <input type="checkbox"/> Otros Grifos / Llaves <input type="checkbox"/> ¿Cuál? _____
16. ¿Tienen un abastecimiento adicional?	<input type="checkbox"/> Individual <input type="checkbox"/> Agua lluvia <input type="checkbox"/> Pozo o Aljibe <input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/>	
17. ¿Existen cortes frecuentes en el servicio de agua?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Algunas veces <input type="checkbox"/>	
18. ¿Tiene tanque de almacenamiento/reserva en su vivienda?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Frecuencia de lavado _____ días / meses	
19. ¿Cómo considera usted que es la calidad del agua?	<input type="checkbox"/> Excelente <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/>	
20. Señalar a continuación (a) en qué actividades usa agua, (b) con qué frecuencia y (c) en qué horarios lleva a cabo dichas actividades:		

a. Uso	Aseo personal			Aseo del hogar							Preparación de alimentos		Uso externo			
	Lavado manos	Lavado dientes	Baño corporal	Lavado ropa	Lavado pisos	Lavado paredes	Lavado patio	Lavado ducha	Lavado inodoro	Lavado lavaman	Cocción aliment.	Lavado utensili	Lavado acera	Lavado vehículo	Riego jardín	
b. Frecuencia																
c. Horario																
Frecuencia:	1 Diario	2 De uno a dos días por semana	3 De tres a cuatro días por semana	4 > Cuatro días por semana	5 Entre uno y seis meses	6 > Seis meses	7 Nunca									
Horario:	1 Entre 1:00 am - 5:00 am	2 Entre 5:00 am - 8:00 am	3 Entre 8:00 am - 12:00 pm	4 Entre 12:00 pm - 3:00 pm	5 Entre 3:00 pm - 6:00 pm	6 Entre 6:00 pm - 9:00 pm	7 Entre 9:00 pm - 12:00 am									

21. ¿Cómo considera usted que es el nivel de consumo de agua en su hogar? ☐ Bajo ☐ Normal ☐ Alto ☐

22. ¿Se presentan fugas/goteos de agua en la vivienda? ☐ SI ☐ NO ☐ ¿Corrige estas fugas? ☐ SI ☐ NO ☐

23. ¿Realiza usted alguna práctica de ahorro de agua? ☐ SI ☐ NO ☐ ¿Cuál? \_\_\_\_\_

24. ¿Tiene medidor en su vivienda? ☐ SI ☐ NO ☐ Tipo de medidor \_\_\_\_\_

25. ¿Paga por el servicio? ☐ SI ☐ NO ☐ ¿Cuánto (\$) \_\_\_\_\_

26. ¿Cómo considera usted el pago que hace por el consumo de agua? ☐ Barato ☐ Adecuado ☐ Costoso ☐

27. ¿Conoce usted cómo se calcula el valor que paga en su factura de acueducto? ☐ SI ☐ NO ☐

28. ¿Sabe usted si recibe algún subsidio en el pago de su factura por el consumo del agu ☐ SI ☐ NO ☐

Observaciones:
No. micromedidor nuevo: _____

Elaboró: \_\_\_\_\_

## Anexo 2. Código matemático del modelo de simulación

En la Tabla 31 se exponen las ecuaciones que permitirán “correr” o ejecutar el modelo. Sin embargo se debe tener en cuenta que sí bien la estructura matemática es similar para cada modelo, los valores ingresados por estrato son diferentes.

Tabla 31. Datos de entrada en el modelo y planteamiento de ecuaciones para el estrato j

<b>Pereira Estrato 1</b>
<b>Consumo_E1 = GRAPH(TIME)</b>
(1.00, 18.6), (2.00, 17.1), (3.00, 15.9), (4.00, 17.0), (5.00, 16.5), (6.00, 16.1), (7.00, 17.7), (8.00, 17.4), (9.00, 17.2), (10.0, 16.6), (11.0, 15.6), (12.0, 15.7), (13.0, 17.6), (14.0, 15.3), (15.0, 15.1), (16.0, 16.5), (17.0, 16.5), (18.0, 16.1), (19.0, 15.5), (20.0, 16.8), (21.0, 17.1), (22.0, 17.1), (23.0, 15.7), (24.0, 15.7), (25.0, 15.7), (26.0, 16.8), (27.0, 16.8), (28.0, 16.0), (29.0, 16.5), (30.0, 16.4), (31.0, 16.4), (32.0, 16.0), (33.0, 16.2), (34.0, 16.2), (35.0, 15.6), (36.0, 15.5), (37.0, 15.8), (38.0, 15.5), (39.0, 15.5), (40.0, 15.2), (41.0, 15.4), (42.0, 15.5), (43.0, 15.4), (44.0, 15.9), (45.0, 15.2), (46.0, 14.9), (47.0, 15.1), (48.0, 15.0), (49.0, 15.8), (50.0, 15.0), (51.0, 15.1), (52.0, 15.6), (53.0, 15.0), (54.0, 14.9), (55.0, 15.2), (56.0, 14.6), (57.0, 14.9), (58.0, 14.4), (59.0, 14.3), (60.0, 14.4), (61.0, 14.6), (62.0, 14.8), (63.0, 14.4), (64.0, 14.7), (65.0, 14.6), (66.0, 15.1), (67.0, 15.0), (68.0, 15.2), (69.0, 15.8), (70.0, 15.1), (71.0, 15.3), (72.0, 14.8), (73.0, 15.0), (74.0, 14.7), (75.0, 14.8), (76.0, 14.7), (77.0, 13.4), (78.0, 13.7), (79.0, 13.4), (80.0, 14.3), (81.0, 13.6), (82.0, 13.7), (83.0, 13.7), (84.0, 14.0), (85.0, 14.3), (86.0, 14.4), (87.0, 13.2), (88.0, 13.7), (89.0, 13.8), (90.0, 13.5), (91.0, 13.9), (92.0, 14.0), (93.0, 13.9), (94.0, 13.1), (95.0, 13.3), (96.0, 13.3), (97.0, 14.0), (98.0, 13.8), (99.0, 13.0), (100, 13.4), (101, 13.4), (102, 13.5), (103, 13.5), (104, 13.8), (105, 13.7), (106, 13.4), (107, 12.9), (108, 13.2)
<b>Consumo_E1 = GRAPH(TIME)</b>
(1.00, 18.6), (2.00, 17.1), (3.00, 15.9), (4.00, 17.0), (5.00, 16.5), (6.00, 16.1), (7.00, 17.7), (8.00, 17.4), (9.00, 17.2), (10.0, 16.6), (11.0, 15.6), (12.0, 15.7), (13.0, 17.6), (14.0, 15.3), (15.0, 15.1), (16.0, 16.5), (17.0, 16.5), (18.0, 16.1), (19.0, 15.5), (20.0, 16.8), (21.0, 17.1), (22.0, 17.1), (23.0, 15.7), (24.0, 15.7), (25.0, 15.7), (26.0, 16.8), (27.0, 16.8), (28.0, 16.0), (29.0, 16.5), (30.0, 16.4), (31.0, 16.4), (32.0, 16.0), (33.0, 16.2), (34.0, 16.2), (35.0, 15.6), (36.0, 15.5), (37.0, 15.8), (38.0, 15.5), (39.0, 15.5), (40.0, 15.2), (41.0, 15.4), (42.0, 15.5), (43.0, 15.4), (44.0, 15.9), (45.0, 15.2), (46.0, 14.9), (47.0, 15.1), (48.0, 15.0), (49.0, 15.8), (50.0, 15.0), (51.0, 15.1), (52.0, 15.6), (53.0, 15.0), (54.0, 14.9), (55.0, 15.2), (56.0, 14.6), (57.0, 14.9), (58.0, 14.4), (59.0, 14.3), (60.0, 14.4), (61.0, 14.6), (62.0, 14.8), (63.0, 14.4), (64.0, 14.7), (65.0, 14.6), (66.0, 15.1), (67.0, 15.0), (68.0, 15.2), (69.0, 15.8), (70.0, 15.1), (71.0, 15.3), (72.0, 14.8), (73.0, 15.0), (74.0, 14.7), (75.0, 14.8), (76.0, 14.7), (77.0, 13.4), (78.0, 13.7), (79.0, 13.4), (80.0, 14.3), (81.0, 13.6), (82.0, 13.7), (83.0, 13.7), (84.0, 14.0), (85.0, 14.3), (86.0, 14.4), (87.0, 13.2), (88.0, 13.7), (89.0, 13.8), (90.0, 13.5), (91.0, 13.9), (92.0, 14.0), (93.0, 13.9), (94.0, 13.1), (95.0, 13.3), (96.0, 13.3), (97.0, 14.0), (98.0, 13.8), (99.0, 13.0), (100, 13.4), (101, 13.4), (102, 13.5), (103, 13.5), (104, 13.8), (105, 13.7), (106, 13.4), (107, 12.9), (108, 13.2)
Interruptor_E1 = 0
Implementacion_E1 = 0
Dispositivo_E1 = 0
Demanda_E1 = IF (TIME < 85) THEN ((Consumo_E1*Usuarios_E1)) ELSE (IF (Interruptor_E1 = 0) THEN ((Consumo_E1*Usuarios_E1)) ELSE (IF (TIME >= 85) THEN (((Usuarios_E1 * Implementacion_E1) * Consumo_Dispositivo_E1)) + (((Usuarios_E1*(1-Implementacion_E1))*Consumo_E1)) ELSE 0))
Consumo_Dispositivo_E1 = IF TIME < 85 THEN Consumo_E1 ELSE IF TIME >= 85 THEN Consumo_E1*(1-Dispositivo_E1) ELSE 0



<b>Pereira Estrato 2</b>
<b>Consumo_E2 = GRAPH(TIME)</b>
(1.00, 19.3), (2.00, 17.8), (3.00, 16.3), (4.00, 18.1), (5.00, 17.2), (6.00, 16.8), (7.00, 18.2), (8.00, 18.0), (9.00, 17.4), (10.0, 17.2), (11.0, 16.5), (12.0, 17.0), (13.0, 18.7), (14.0, 15.9), (15.0, 15.9), (16.0, 17.5), (17.0, 17.5), (18.0, 16.8), (19.0, 16.6), (20.0, 17.5), (21.0, 17.5), (22.0, 17.5), (23.0, 16.4), (24.0, 16.2), (25.0, 16.2), (26.0, 17.6), (27.0, 17.6), (28.0, 16.6), (29.0, 16.7), (30.0, 16.6), (31.0, 17.0), (32.0, 16.6), (33.0, 16.5), (34.0, 17.2), (35.0, 16.1), (36.0, 15.9), (37.0, 17.1), (38.0, 16.3), (39.0, 16.3), (40.0, 16.5), (41.0, 16.0), (42.0, 16.1), (43.0, 16.3), (44.0, 16.7), (45.0, 15.6), (46.0, 15.4), (47.0, 15.8), (48.0, 15.2), (49.0, 16.8), (50.0, 15.3), (51.0, 15.5), (52.0, 16.1), (53.0, 15.2), (54.0, 15.3), (55.0, 15.3), (56.0, 15.0), (57.0, 15.2), (58.0, 14.5), (59.0, 14.6), (60.0, 14.6), (61.0, 15.1), (62.0, 14.8), (63.0, 14.3), (64.0, 14.9), (65.0, 14.3), (66.0, 15.0), (67.0, 14.9), (68.0, 15.1), (69.0, 15.3), (70.0, 14.7), (71.0, 14.8), (72.0, 14.2), (73.0, 14.7), (74.0, 13.8), (75.0, 14.6), (76.0, 14.5), (77.0, 13.0), (78.0, 13.7), (79.0, 13.2), (80.0, 14.4), (81.0, 13.6), (82.0, 13.4), (83.0, 13.3), (84.0, 14.1), (85.0, 14.5), (86.0, 14.2), (87.0, 12.7), (88.0, 13.8), (89.0, 13.7), (90.0, 13.4), (91.0, 13.8), (92.0, 13.8), (93.0, 14.1), (94.0, 13.0), (95.0, 13.5), (96.0, 13.1), (97.0, 14.0), (98.0, 13.7), (99.0, 13.0), (100, 13.1), (101, 13.3), (102, 13.7), (103, 13.3), (104, 13.6), (105, 13.6), (106, 13.1), (107, 13.0), (108, 13.0)
<b>Usuarios_E2 = GRAPH(TIME)</b>
(1.00, 24015), (2.00, 24433), (3.00, 24556), (4.00, 24739), (5.00, 24980), (6.00, 25100), (7.00, 25353), (8.00, 25463), (9.00, 25608), (10.0, 25665), (11.0, 25709), (12.0, 25795), (13.0, 25854), (14.0, 25959), (15.0, 26022), (16.0, 26080), (17.0, 26248), (18.0, 26324), (19.0, 26429), (20.0, 26485), (21.0, 26528), (22.0, 26633), (23.0, 26746), (24.0, 26792), (25.0, 26872), (26.0, 26872), (27.0, 26647), (28.0, 26736), (29.0, 26986), (30.0, 26978), (31.0, 27301), (32.0, 27435), (33.0, 27533), (34.0, 27593), (35.0, 27697), (36.0, 27733), (37.0, 27802), (38.0, 27858), (39.0, 27935), (40.0, 28002), (41.0, 28036), (42.0, 28096), (43.0, 28152), (44.0, 28223), (45.0, 28351), (46.0, 28541), (47.0, 28592), (48.0, 28630), (49.0, 28663), (50.0, 28704), (51.0, 28811), (52.0, 28890), (53.0, 28959), (54.0, 29448), (55.0, 29603), (56.0, 29673), (57.0, 29977), (58.0, 30066), (59.0, 30160), (60.0, 30239), (61.0, 30299), (62.0, 30268), (63.0, 30327), (64.0, 30389), (65.0, 30444), (66.0, 30491), (67.0, 30571), (68.0, 30658), (69.0, 30796), (70.0, 30816), (71.0, 30867), (72.0, 30902), (73.0, 30938), (74.0, 31015), (75.0, 31098), (76.0, 31167), (77.0, 31210), (78.0, 31348), (79.0, 31398), (80.0, 31482), (81.0, 31548), (82.0, 31521), (83.0, 31526), (84.0, 31579), (85.0, 31595), (86.0, 31654), (87.0, 31695), (88.0, 31799), (89.0, 31879), (90.0, 31934), (91.0, 32081), (92.0, 32181), (93.0, 32254), (94.0, 32299), (95.0, 32540), (96.0, 32582), (97.0, 32564), (98.0, 32602), (99.0, 32681), (100, 32732), (101, 32764), (102, 32796), (103, 32857), (104, 32946), (105, 33102), (106, 33188), (107, 33252), (108, 33274)
Consumo_Dispositivo_E2 = IF TIME < 85 THEN Consumo_E2 ELSE IF TIME >= 85 THEN Consumo_E2*(1-Dispositivo_E2) ELSE 0
Demanda_E2 = IF (TIME < 85) THEN ((Consumo_E2*Usuarios_E2)) ELSE (IF (Interruptor_E2 = 0) THEN ((Consumo_E2*Usuarios_E2)) ELSE (IF (TIME >= 85) THEN (((Usuarios_E2*Implementacion_E2)*Consumo_Dispositivo_E2)) + (((Usuarios_E2*(1-Implementacion_E2))*Consumo_E2)) ELSE 0))
Dispositivo_E2 = 0
Implementacion_E2 = 0
Interruptor_E2 = 0
<b>Demanda Pereira E1 y E2</b>
Demanda_E1yE2 = (Demanda_E1+Demanda_E2)
<b>Demanda Residencial E1 y E2</b>
Demanda_Residencial (t) = Demanda_Residencial(t - dt) + (Variación_Demanda_Residencial) * dt INIT Demanda_Residencial = INIT(Demanda_E1yE2)
Variación_Demanda_Residencial = (Demanda_E1yE2)-Demanda_Residencial

Fuente: elaboración propia, 2013

### Anexo 3. Información socioeconómica y financiera de los usuarios de los estrato uno y dos

La Figura 53 presenta la distribución de las viviendas según su tamaño, se observa que el 40% de los hogares se conforma por cuatro miembros, mientras que los hogares con dos, tres y siete miembros muestra una distribución uniforme del 20%.

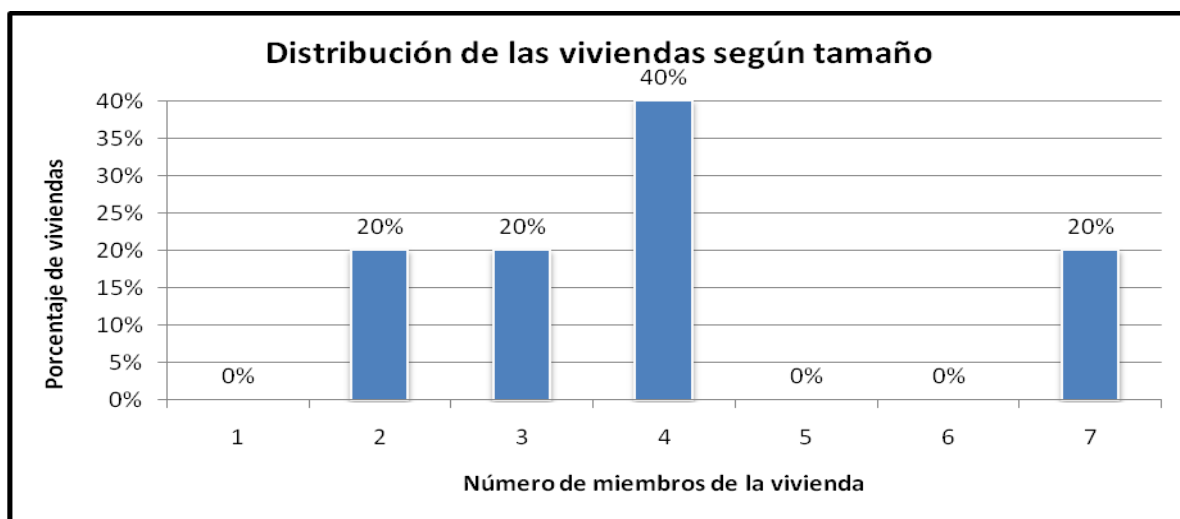


Figura 53. Distribución de viviendas según su tamaño.  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

La Figura 54 representa la distribución de los hogares por su sexo, en la que se observa una distribución porcentual del 55% masculino y 45% femenino. Con respecto a la edad, se observa que el 32% corresponde a personas entre los 0 y 15 años, el 23% se encuentra entre los 15 y 25 años y el 45% corresponde a personas mayores de 25 años.

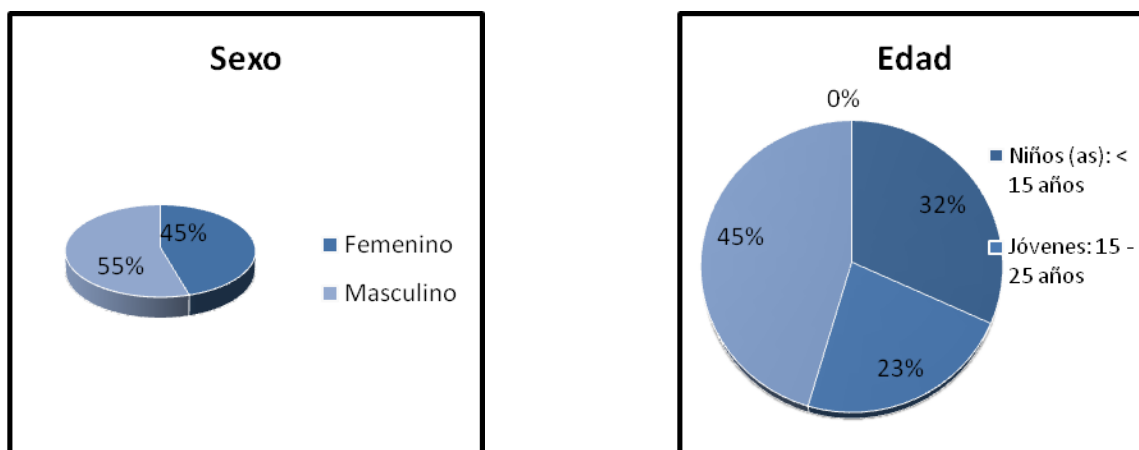


Figura 54. Distribución según sexo y edad.  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

La Figura 55 indica la distribución ocupacional de los miembros de los hogares, con mayor representación los estudiantes con un 41%, seguido de las amas de casa y empleados con un 23% y 18% respectivamente.

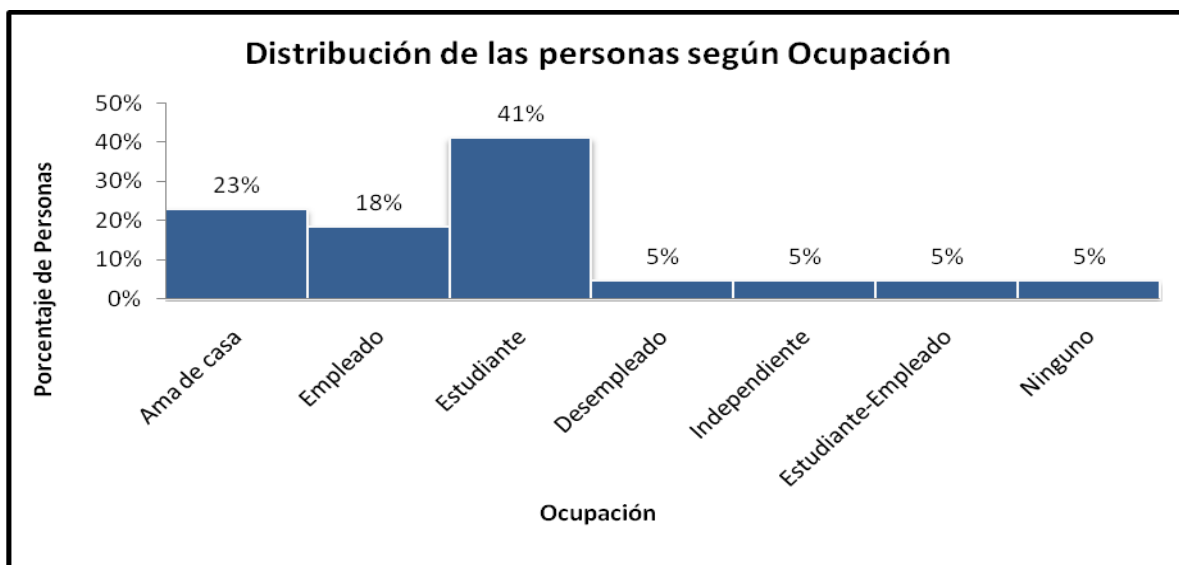


Figura 55. Distribución según ocupación.  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

La Figura 56 indica el ingreso promedio mensual de los hogares, en la que se refleja que el 83% tienen un ingreso promedio mensual de 0-2 salarios mínimos legales mensuales vigentes, el 17% manifiesta tener ingresos entre 2-4 SMLMV.

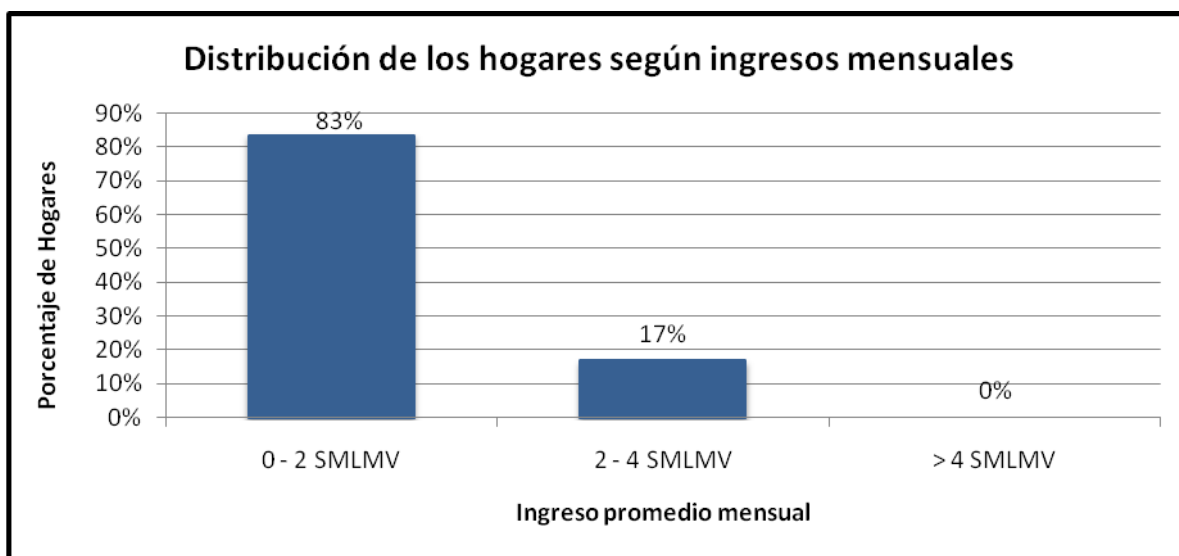


Figura 56. Distribución según ingresos mensuales.  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

La Figura 57 indica el tiempo de permanencia de los miembros en las viviendas relacionado con la edad de los mismos, la cual refleja que las mujeres de 20 y 50 años de edad son las que permanecen la totalidad de su tiempo en el hogar.

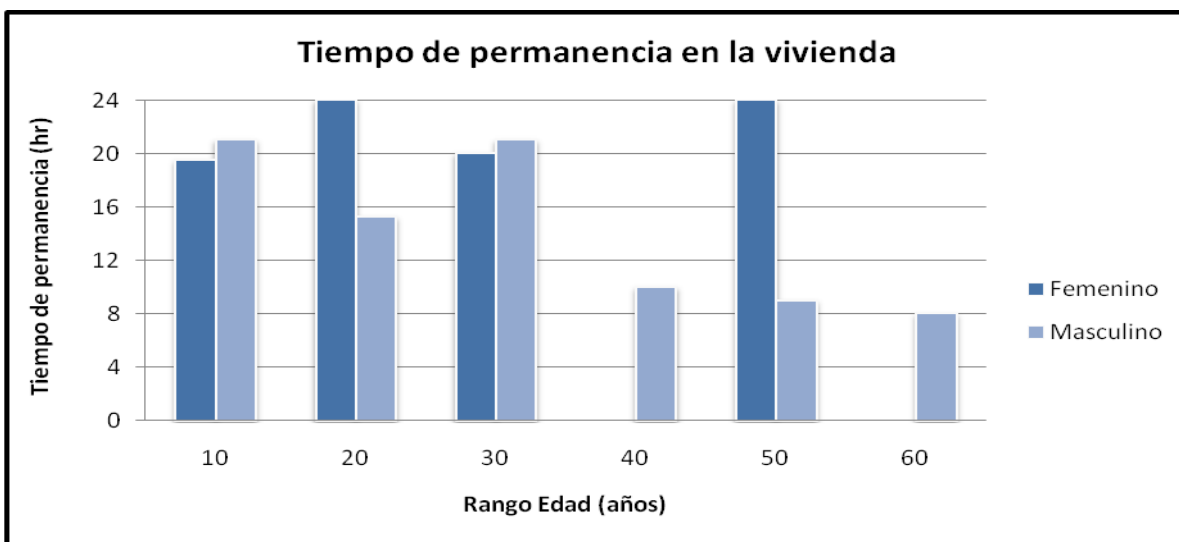


Figura 57. Tiempo de permanencia en la Vivienda.  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

La Figura 58 indica que el 86% de los hogares cuentan con un inodoro y un lavamanos, reflejando una relación directa entre estas unidades hidrosanitarias.

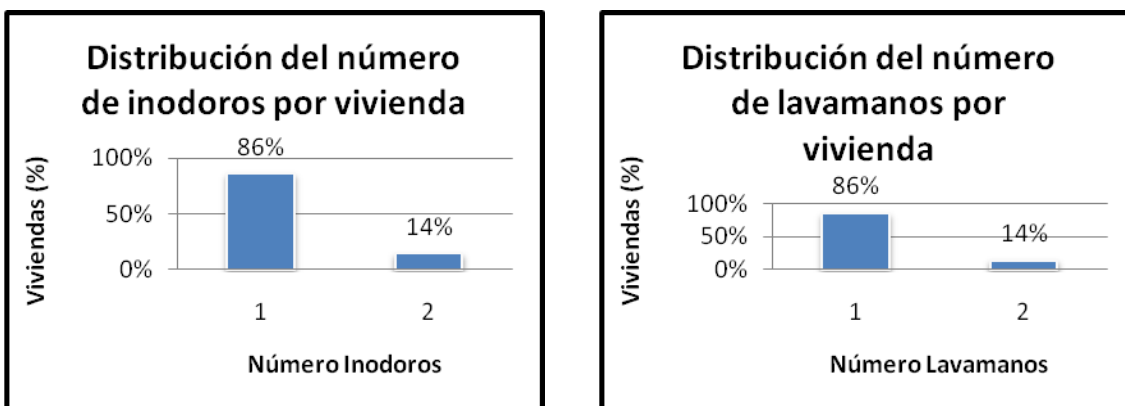


Figura 58. Distribución según número de inodoros y lavamanos.  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

La Figura 59 indica que el 86% de las viviendas cuentan con una ducha mientras que solo el 14% cuentan con dos duchas.

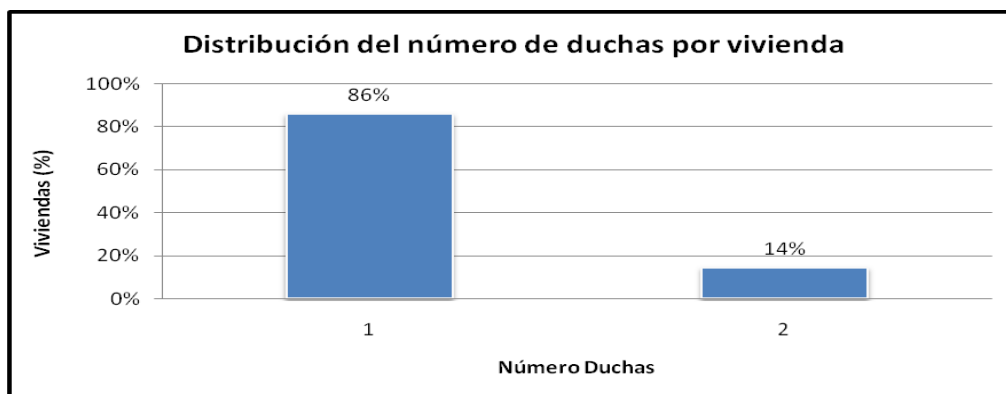


Figura 59. Distribución según el número de duchas.  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

La Figura 60 indica que el 100% de las viviendas cuentan con un lavadero, a su vez el 67% de los hogares cuentan al menos con una lavadora.

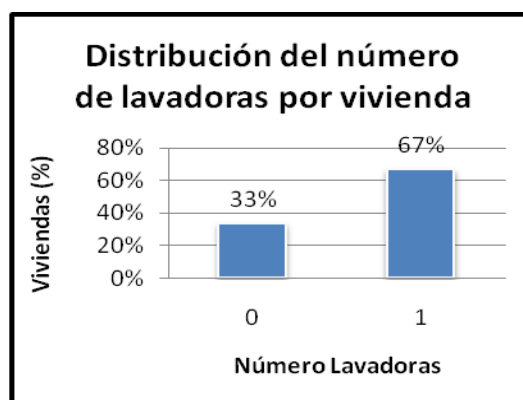
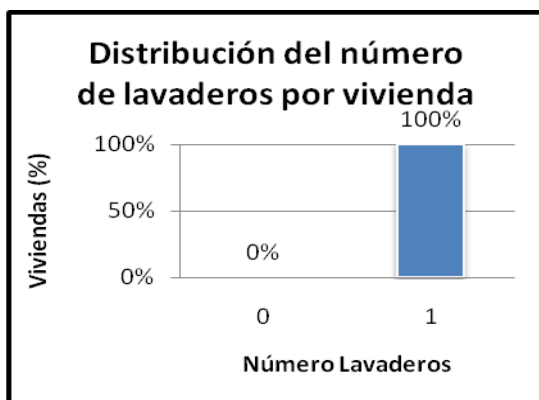


Figura 60. Distribución según el número de lavaderos y lavadoras  
Fuente: Elaboración propia, 2013.

La Figura 61 indica que el 83% de las viviendas cuentan con lavaplatos y otro tipo de grifos, además el importante resaltar que el 17% de los hogares no cuentan con lavaplatos.

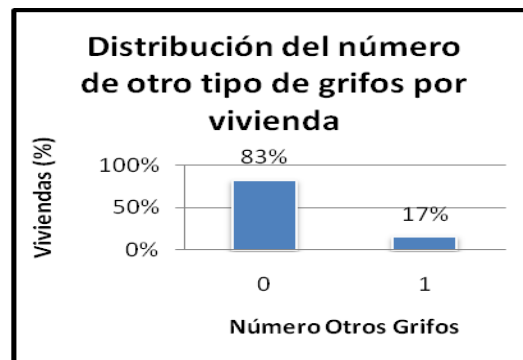
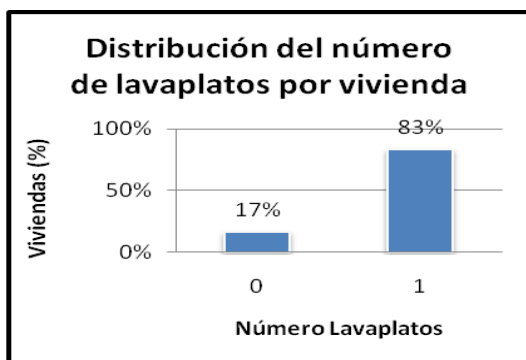


Figura 61. Distribución según el número de lavaplatos y otro tipo de grifos.  
Fuente: Elaboración propia, 2013.